

**Tielaitos**

# **Tien rakenteellisten hidastimien vaikutus ajodynamiikkaan**



**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**60/1995**

Helsinki 1995

**Kehittämiskeskus**

Tielaitoksen selvityksiä  
60/1995

**Tien rakenteellisten hidastimien  
vaikutus ajodynamiikkaan**

**Tielaitos**  
Kehittämiskeskus

Helsinki 1995



ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-129-2  
TIEL 3200335  
Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

**Tien rakenteellisten hidastimien vaikutus ajodynamiikkaan.** [The Effects of Traffic Calming Measures on the Dynamics of a Vehicle]. Helsinki 1995. Tielaitos, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 60/1995. 65 s. + liitt. 14 s., TIEL 3200335, ISBN 951-726-129-2, ISSN 0788-3722.

**Aiheluokka:** 21

**Asiasanat:** hidasteet, nopeustutkimukset

## **Tiivistelmä**

Hidastimien avulla pyritään laskemaan kuljettajien käyttämiä nopeuksia niin, että nopeudet tiejaksolla eivät ylitä sopivaksi katsottua nopeustasoa. Hidastimien nopeuksia alentava vaikutus perustuu niiden aiheuttamaan ajomukavuuden heikkenemiseen silloin, kun ajoneuvon nopeus ylittää halutun nopeustason. Yksittäisen hidastimen tai liian harvaan asetettujen hidastimien vaikutus nopeuksiin on pistemäinen. Paras hidastinratkaisu on sellainen, jossa nopeudet pysyvät tasaisen alhaisina koko tieosalla. Kun ajoneuvojen nopeudet saadaan pysymään tasaisina, niin päästöjenkin määrä vähenee, koska toisiaan seuraavat kiihdytykset ja hidastukset jäävät pois.

Hidastimia ovat korotukset, kavennukset ja sivusiirtymät. Myös kiertoliittymää voidaan käyttää hidastimen tavoin. Tutkimuksessa on tarkasteltu tien rakenteellisten hidastimien vaikutuksia ajoneuvojen ajodynamiikkaan. Ajodynaamisia ominaisuuksia ovat nopeus, kiihtyvyys ja hidastuvuus. Tutkimus koostuu kirjallisuudesta ja kenttätutkimuksesta. Tämän tutkimuksen kenttämittauksissa tutkimusmenetelmiä olivat tutka, ajoneuvoseuranta ja videokuvaus. Kenttämittaukset tehtiin kahdessatoista kohteessa eri puolilla Suomea.

Ajoradan korotuksissa keskinopeus oli 30 km/h:n nopeusrajoitusalueilla 20,7 - 31,5 km/h. Nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat korotuksen korkeus ja muoto. Korotuksien välinen etäisyys vaikuttaa nopeuksiin niiden välillä. Maksiminopeuksien keskiarvo kahden korotuksen välillä on noin 30 km/h, kun korotuksien välinen etäisyys on 60 metriä. Ajoradan korotuksissa, kuten muissakin hidastimissa kuljettajien käyttämiin nopeuksiin vaikuttaa itse hidastimen lisäksi nopeusrajoitus, tien geometria ja tiehen rajoittuvien alueiden maankäyttö.

Keskinopeudet kaksipuolisissa kavennuksissa olivat 40 km/h:n nopeusrajoitusalueella 50,4 km/h ja 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella 42,5 km/h. Yksipuolisissa kavennuksissa keskinopeus oli 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella 34,1 km/h, kun kavennus on ajosuunnan kaistalla. Kun yksipuolinen kavennus on vastakkaisen suunnan kaistalla keskinopeus oli 38,1 km/h. Kavennuksissa nopeudet laskevat selvästi ainoastaan kohtaamistilanteissa.

Ajolinjan sivusiirtymissä keskinopeudet olivat 36,7 - 43,6 km/h, kun nopeusrajoitus on 40 km/h. 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella sijaitsevilla mittaushaaroissa keskinopeudet olivat 29,0 - 35,9 km/h. Sivusiirtymissä nopeuksiin vaikuttaa siirtymän suuruus.

Taajamien laidalla sijaitsevilla kiertoliittymissä taajamaan saapuvien ajoneuvojen nopeuksien keskiarvo oli 29,0 km/h kiertoliittymässä, jossa kiertosaarekkeen halkaisija on 10 metriä ja nopeusrajoitus 30 km/h. Vastaavasti liittymässä, jossa kiertosaarekkeen halkaisija on 5,5 metriä ja nopeusrajoitus 40 km/h, nopeuksien keskiarvo oli 34,6 km/h. Taajaman keskellä 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella sijaitsevilla kiertoliittymissä, joissa kiertosaarekkeen halkaisija on 10 metriä, keskinopeudet olivat 21,7 - 22,8 km/h. Kiertoliittymissä nopeuksiin vaikuttaa kiertosaarekkeen koko ja liittymän porrastus.

Töyssyillä hidastuvuus- ja kiihtyvyyssarvoin vaikuttavat töyssyn korkeus ja töyssyjen välinen etäisyys. Keskimääräinen hidastuvuus töyssyillä oli 0,43 - 0,77 m/s<sup>2</sup> ja kiihtyvyys 0,49 - 0,85 m/s<sup>2</sup>. Kiertoliittymissä mitatut keskimääräiset hidastuvuudet olivat 0,23 - 0,28 m/s<sup>2</sup> ja kiihtyvyydet 0,43 - 0,51 m/s<sup>2</sup>, kun liittymä sijaitsee 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella ja kiertosaarekkeen halkaisija on 10 metriä.



**Tien rakenteellisten hidastimien vaikutus ajodynamiikkaan.** [The Effects of Traffic Calming Measures on the Dynamics of a Vehicle]. Helsinki 1995. Finnish National Road Administration. Tielaitoksen selvityksiä 60/1995. 65 p + appendix 14 p., TIEL 3200335, ISBN 951-726-129-2, ISSN 0788-3722.

**Keywords:** traffic calming measures, speed studies

## **Abstract**

The aim of traffic calming devices is to decrease speeds used by drivers to the degree that they do not exceed acceptable speed levels. The slowing-down effect of the calming devices is based on their detrimental effect on the driving comfort when the speed of the vehicle exceeds the desired level. Single calming devices or devices placed too far apart are only effective at one point. The best traffic calming solution is one that lowers speeds over the entire stretch of road. Constant speed also decreases emissions caused by repeated deceleration and acceleration.

Traffic calming devices are road humps, narrowings and horizontal deflections (chicanes). Roundabouts can also be used for the purpose. This study focuses on the effects of structural traffic calming devices on the dynamics of vehicles. Dynamic properties are speed, acceleration and deceleration. The study consists of a literature section and a field study section. The methods employed were radar, traffic impedance analyses and recording on video. Field measurements were made at twelve locations in various parts of Finland.

Average speeds over road humps where the speed limit was 30 km/h varied in the range 20.7 - 31.5 km/h. Factors influencing the speed were the height and design of the hump. The distance between road humps influences speeds used between them. The average maximum speed between road humps was 30 km/h when the distance between road humps was 60 metres. The speed limit, the geometry of the road and the use of adjacent land areas influence the speed at road humps and other traffic calming devices.

At double-sided narrowings the average speed was 50.4 km/h when the speed limit was 40 km/h and 42.5 km/h when the speed limit was 30 km/h. At single-sided narrowings the average speed was 34.1 km/h when the speed limit was 30 km/h and the narrowing was on the driver's lane. When the narrowing was on the opposite lane the average speed was 38.1 km/h. Narrowings decreased speeds significantly only in meeting situations.

At chicanes average speeds were 36.7 - 43.6 km/h when the speed limit was 40 km/h. Average speeds in the range 29.0 - 35.9 km/h were measured in areas where the speed limit was 30 km/h. The amount of deflection influences speeds.

At roundabouts located at the edge of urban areas the average speed of vehicles driving towards the urban area was 29.0 km/h in roundabouts, whose central island diameter was 10 m and the speed limit 30 km/h. Correspondingly, in roundabouts, whose central island diameter was 5.5 m and the speed limit 40 km/h, speeds averaged 34.6 km/h. At roundabouts located in the centre of urban areas the speeds of vehicles averaged 21.7 - 22.8 km/h in roundabouts, whose central island diameter was 10 m and the speed limit 30 km/h. The central island diameter and the staggering of the junction influence speeds in roundabouts.

At road humps the height of the hump and the distance between road humps influence deceleration and acceleration. Average deceleration values at road humps were in the range 0.43 - 0.77 m/s<sup>2</sup> and acceleration values correspondingly 0.49 - 0.85 m/s<sup>2</sup>. Deceleration and acceleration values at roundabouts averaged 0.23 - 0.28 m/s<sup>2</sup> and 0.43 - 0.51 m/s<sup>2</sup>, respectively, for roundabouts, whose central island diameter was 10 m and the speed limit 30 km/h.

## **Alkusanat**

Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorio on tielaitoksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta selvittänyt tien rakenteellisten hidastimien vaikutusta ajodynamiikkaan. Selvitys koostuu kirjallisuustutkimuksesta sekä kenttätutkimusosasta, jossa on selvitetty tehtyjen hidastintoimenpiteiden vaikutuksia. Tavoitteena on ollut arvioida ratkaisujen käyttökelpoisuus ja kehittää mittausmenetelmät tutkimusten suorittamiseksi.

Selvityksen on Teknillisessä korkeakoulussa tehnyt diplomi-insinööri Iiro Huttunen. Kenttätutkimuksiin ovat osallistuneet laboratoriotyöteknikko Kari Hintikka ja laboratoriomestari Lasse Huttunen. Teknillisen korkeakoulun yhdyshenkilönä on ollut diplomi-insinööri Jarkko Niittymäki ja tielaitoksen yhdyshenkilönä diplomi-insinööri Jorma Saarelainen.

Helsingissä lokakuussa 1995

*Tielaitos  
Kehittämiskeskus*

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYSLUETTELO	7
1 JOHDANTO	9
2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS	10
2.1 Yleistä	10
2.2 Tutkimusmenetelmiä	11
2.3 Korotukset	13
2.4 Kavennukset	17
2.5 Sivusiirtymät	19
2.6 Porttikohdat	20
2.7 Muita hidastintyypppejä	22
2.7.1 Kiertoliittymä	22
2.7.2 Heräteraidat	23
3 KENTTÄTUTKIMUKSET	24
3.1 Mittausmenetelmät	24
3.1.1 Ajoneuvoseuranta	24
3.1.2 Tutkamittaus	24
3.1.3 Videokuvaus	24
3.2. Mittauskohteet ja mittaustulokset	25
3.2.1 Yleistä mittauksista	25
3.2.2 Laaksoalahdentie, Espoo	28
3.2.3 Pikkulinnunreitti, Espoo	30
3.2.4 Karakalliontie, Espoo	32
3.2.5 Pt 12076, Sauvo	34
3.2.6 Mt 235, Paimio	36
3.2.7 Pt 15145, Anttola	38
3.2.8 Kirstintie, Espoo	40
3.2.9 Itämerenkatu, Helsinki	42
3.2.10 Pt 13593, Tammela	44
3.2.11 Mt 276, Kyröskoski	46
3.2.12 Pt 16511 ja Pt 16512, Keuruu	48
3.2.13 Mt 6403, Lievestuore	50
4 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI	52
4.1 Nopeudet	52
4.2 Hidastuvuudet ja kiihtyvyydet	55
4.3 Ajokäyttäytyminen	57

<u>5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ</u>	<u>58</u>
<u>6 LÄHDELUETTELO</u>	<u>60</u>
<u>7 LIITTEET</u>	<u>65</u>



## 1 JOHDANTO

Hidastin on tien rakenteellinen toimenpide, jolla pyritään alentamaan ajoneuvojen nopeuksia ja pitämään ne halutulla, turvallisella tasolla. Hidastimia ovat esimerkiksi ajoradan korotukset, kavennukset ja sivusiirtymät. Myös kiertoliittymää voidaan käyttää hidastimena.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu tien rakenteellisten hidastimien vaikutusta ajoneuvojen ajodynamiikkaan. Ajodynaamisia ominaisuuksia ovat nopeus, kiihtyvyys ja hidastuvuus. Kirjallisuustutkimuksessa on perehdytty sekä koti- että ulkomaisiin hidastimia koskeviin tutkimuksiin. Siinä on tarkasteltu eri hidastintutkimusten tuloksia sekä niiden mittaus- ja analysointimenetelmiä. Kenttätutkimuksessa on tehty mittauksia ajoradan korotuksissa, kavennuksissa, sivusiirtymissä ja kiertoliittymissä. Mittausmenetelmiä olivat ajoneuvoseuranta, tutkamittaus ja videokuvaus.

Tutkimuksen tuloksena saatuja nopeus-, kiihtyvyys- ja hidastuvuustietoja voidaan hyödyntää hidasteiden suunnittelussa ja eri hidastetyyppien soveltuvuustarkasteluissa. Lisäksi näitä parametreja tarvitaan esimerkiksi malleissa, joilla arvioidaan hidasteiden vaikutuksia matka-aikoihin, viivytyksiin ja päästöihin.

## 2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

### 2.1 Yleistä

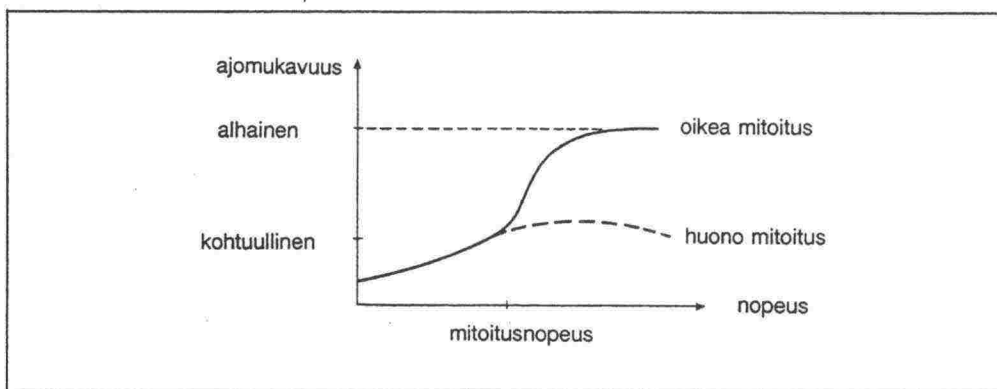
Kuljettajien käyttämiin ajonopeuksiin vaikutetaan yleensä tien mitoituksella ja nopeusrajoituksella. Tien rakenteellisilla hidastimilla tehostetaan nopeuksien rajoittamista pudottamalla myös yksittäiset suuret nopeudet alhaisemmalle tasolle. Hidastimia voidaan käyttää kaikilla teillä, joilla nopeustaso on korkeintaan 50 km/h. (Tielaitos 1995).

Ajonopeus on helposti mitattavissa oleva tekijä, jolla voidaan arvioida liikenneturvallisuutta. Auton törmätessä jalankulkijaan 50 km/h nopeudella ovat seuraukset yleensä vakavat ja johtavat usein jalankulkijan menehtymiseen. Sen sijaan alle 30 km/h nopeudella törmäyksen vaikutukset ovat useimmiten lieviä. 50 km/h:n nopeus aiheuttaa miltei kahdeksankertaisen kuolemanvaaran verrattuna 30 km/h:n nopeuteen. Nopeuksia alentamalla vähennetään siis erityisesti vakavia onnettomuuksia. Hidastimien käyttö on siten perusteltua etenkin sellaisilla taajamien tieosuuksilla, joilla halutaan parantaa kevyen liikenteen turvallisuutta. (Pharaoh 1991, Pasanen 1991.)

Rakenteelliset hidastimet voidaan jakaa seuraaviin päätyyppeihin, joita yhdistelemällä syntyy useita ratkaisumalleja (Tielaitos 1995):

1. Korotukset
2. Kavennukset
3. Sivusiirtymät
4. Porttikohdat
5. Muut (esim. kiertoliittymät, heräteraidat)

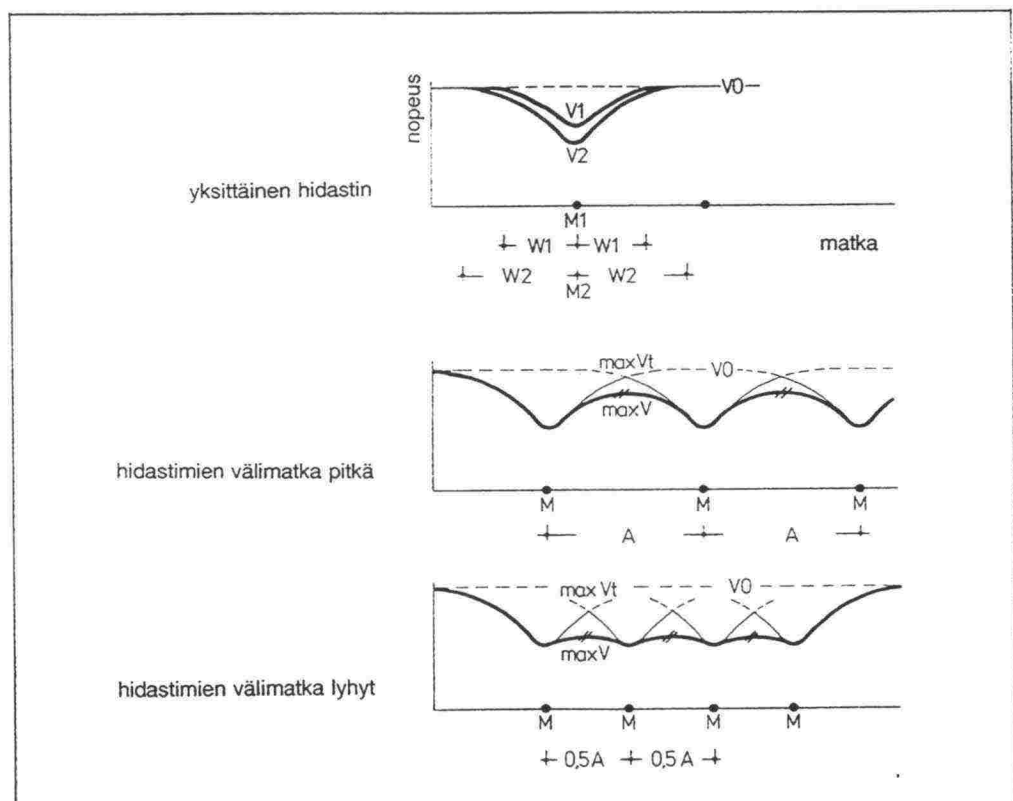
Hidastimien nopeuksia alentava vaikutus perustuu pääasiassa niiden aiheuttamaan ajomukavuuden vähenemiseen silloin, kun ajoneuvon nopeus ylittää tiellä vallitsevan nopeusrajoituksen (Hälvä 1987a). Hidastimien aiheuttamaa epämukavuutta on yleisesti arvioitu ajoneuvoon vaikuttavia pysty- ja vaakakiihtyvyyksiä mittaamalla (Allen & al 1975, Laitakari & al 1981, Kjemtrup 1988, Vejdirektoratet 1989).



Kuva 1: Hyvin suunniteltu hidastin on sellainen, jossa ajomukavuus heikkenee voimakkaasti, kun kuljettaja ajaa hidastimeen mitoitusnopeutta korkeammalla nopeudella (Lahrmann & al 1992).



Hidastimien avulla pyritään laskemaan kuljettajien käyttämiä nopeuksia niin, että nopeudet eivät tiejaksolla ylitä sopivaksi katsottua nopeustasoa. Yleensä tämä nopeustaso on 30 - 40 km/h. Gunnarssonin mukaan (1990) ympäristöpainotteinen liikennealue käsittää ne väylät, joilla on sekä paikallis- että läpiajoliikennettä. Alueella on huolehdittava nopeuksien alentamisesta ja liikennekäyttäytymisen sopeuttamisesta turvallisuuden ja ympäristön vaatimuksiin. Yksittäisen hidastimen tai liian harvaan rakennettujen hidastimien vaikutus nopeuksiin on pistemäinen. Paras hidastinratkaisu on sellainen, jossa nopeudet pysyvät tasaisen alhaisina koko tieosalla eivätkä nopeudet hidastimien välillä ylitä asetettua nopeusrajoitusta (Infanger 1984, Schäfer-Breede 1987, Meewes 1989). Kun ajoneuvojen nopeudet saadaan pysymään tasaisina niin päästöjenkin määrä vähenee, koska toisiaan seuraavat kiihdytykset ja hidastukset jäävät pois (Höglund 1995).



Kuva 2: Hidastimien välinen etäisyys on oikea silloin, kun nopeudet ovat alhaisia koko tiejaksolla (Meewes 1989).

## 2.2 Tutkimusmenetelmiä

Hidastimien vaikutuksia ajodynamiikkaan on tutkittu mittaamalla ajoneuvojen nopeuksia sekä pituus-, sivu- ja pystysuuntaisia kiihtyvyyksiä. Sivu- ja pystysuuntaisen kiihtyvyyden avulla arvioidaan hidastimen aiheuttamaa kuljettajan ajomukavuuden heikkenemistä.

Nopeuksia on mitattu yleisimmin tutkalla. Muita nopeudenmittauslaitteita ovat olleet liikenneanalysointoriin liitetyt induktiosilmukat (Kooijman 1993), paineilmaletkut (Sumner & al 1979, Vejdirektoratet 1987, 1988a ja 1988b, Wheeler & al 1994, Botma 1995), infrapunailmaisimet (Botma 1995) tai valokennot (Pettersson 1979) sekä lasertutka (Kockelke & al 1988, Kockelke 1991). Lisäksi on käytetty matka-ajan

mittausta (Fwa & al 1992) ja ajoneuvoseurantaa (Ympäristöministeriö 1989, Kayser & al 1990, Vårheli 1993).

Tutkamittauksiin on eri tutkimuksissa käytetty joko jalustalla seisovaa liikennetutkaa, pistoolitutkaa tai lasertutkaa. Liikennetutka mittaa nopeuksia jatkuvasti. Pistoolitutkalla mittaus tapahtuu liipaisinta painamalla. Tutkamittauksissa havaintojen määrä on yleensä suuri. Tutkamittauksissa on huolehdittava siitä, että mittauslaitteisto on naamioitu riittävän hyvin (Kayser & al 1990). Tietokoneeseen liitettyllä tutkalla voidaan tallentaa ajoneuvon nopeustiedot halutulla taajuudella ja piirtää tuloksista ajoneuvon nopeusprofiili (Hakuli & al 1989). Lasertutka mittaa tietyllä aikavälillä kohteen etäisyydessä tapahtuneen muutoksen. Saksalaistutkimuksessa käytetyllä mallilla voidaan mitata ajoneuvon nopeus kolme kertaa sekunnissa 200 metrin pituisella matkalla. Laitteen etäisyyden mittaustarkkuus on 0,1 metriä (Kockelte & al 1986). Kiikaritähäimellä varustetulla mallilla on mahdollista seurata yksittäisen ajoneuvon nopeutta jopa yli kilometrin etäisyydeltä myös vilkkaassa liikenteessä (Nevala 1995).

Liikenneanalysaattorilla saadaan nopeushavainto jokaisesta mittauspisteen ylittäneestä ajoneuvosta. Menetelmä ei ole kuitenkaan käyttökelpoinen silloin, kun halutaan mitata ajoneuvojen nopeuksia pitkällä matkalla. Tieosuudella tarvittavien ilmaisimien lukumäärä kasvaisi tällöin erittäin suureksi (Kayser & al 1985). Lisäksi yksittäisen ajoneuvon nopeusprofiilin määrittäminen aineistosta olisi erittäin hankalaa (Durth & al 1983).

Ajoneuvoseuranta on menetelmä, jossa mittausautolla seurataan satunnaisesti valittua ajoneuvoa vakioaikavälin etäisyydellä. Mittausajoneuvon kulkema matka ja käytetty aika taltioidaan ajoanalysaattoriin. Saksalaisten käyttämä Hall-sensori mittaa ajoneuvon nopeuden 0,1 sekunnin välein (Kayser & al 1985, 1989 ja 1990). Ruotsalaisessa tutkimuksessa nopeustieto tallennettiin 0,5 sekunnin välein (Vårheli 1993) ja suomalaisissa mittauksissa 1,0 sekunnin välein (Hälvä 1987b, Ympäristöministeriö 1989). Aikaväli, jolla ajoneuvoa pitäisi seurata, on saksalaistutkimuksessa määritetty neljäksi sekunniksi (Köppel & al 1979). Tätä pienemmällä aikavälillä mittausajoneuvo vaikuttaa seurattavan ajoneuvon nopeuteen. Seurantamittausten vähimmäislukumäärä voidaan laskea kaavalla (Kayser & al 1985):

$$n = \frac{N \cdot t^2}{t^2 + (N-1) \cdot \left(\frac{e_{rel}}{\gamma}\right)^2}$$

$n$  = seurantamittausten vähimmäislukumäärä

$N$  = liikennemäärä mittausaikana (ajon/h)

$t$  =  $t$ -arvo (95 %:n todennäköisyydellä ja vapausasteilla  $df=\infty$ ;  $t=1,96$ )

$e_{rel}$  = matkanopeuden suhteellinen virhe

$\gamma$  = perusjoukon nopeuksien variaatiokerroin (keskihajonta/keskiarvo)

Videokuvaus ja filmaus soveltuvat hidastintutkimuksissa useaan eri tarkoitukseen. Mittausradoilla tehdyissä hidastetutkimuksissa videota on käytetty mm. ajotavan ja kuljettajaan kohdistuvien vaikutusten tutkimiseen (Vejdirektoratet 1991, Kjemtrup 1988). Filmausta on hyödynnetty ajoneuvon pystyliikkeiden mittauksessa (Allen & al 1975). Tanskassa on videon avulla selvitetty päätien alentuneen nopeustason vaikutus sivutieltä päätielle liittyvän liikenteen kriittiseen aikaväliin (Vejdirektoratet 1987, 1988a ja 1988b). Videokuvaus soveltuu myös ajodynaamisiin tutkimuksiin (Lind 1995). Mittausjärjestelyissä tehdään maastoon määräväleihin merkinnät, jotka näkyvät videokuvassa. Kuvauskulma vaikuttaa mittaustarkkuuteen, koska videomonitorin kuvassa etäisyydet vääristyvät. Paras tulos saavutetaan yläpuolelta esimerkiksi

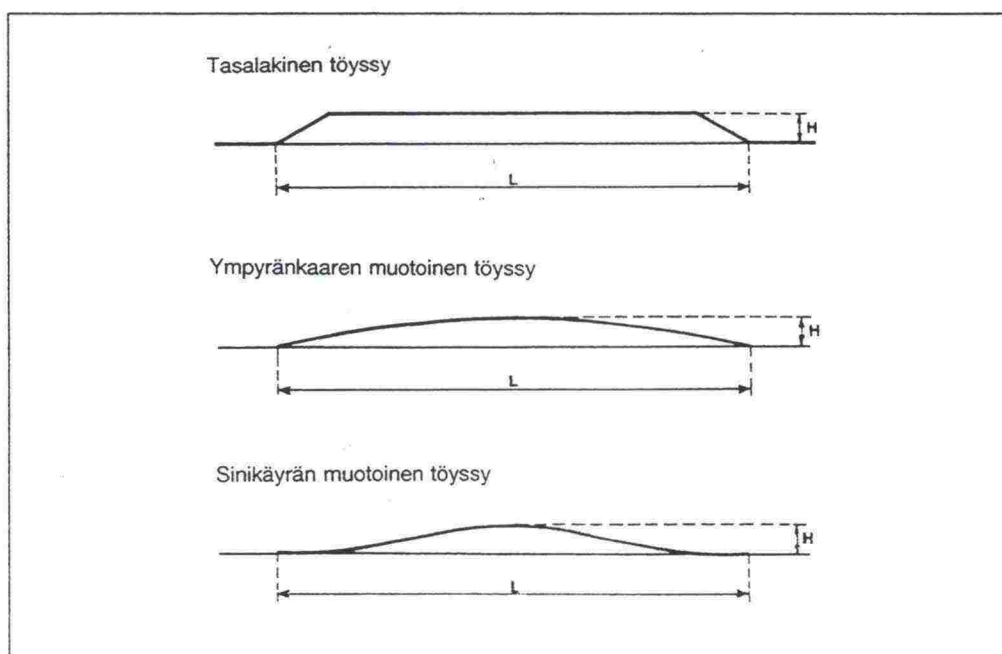


nosturista tehdyllä kuvauksella. Kuvanauhalta tallennetaan ajoneuvon aika- ja paikkatiedot, joiden avulla voidaan laskea ajoneuvon nopeus ja kiihtyvyys.

## 2.3 Korotukset

Ajoradan korotuksella voidaan vaikuttaa tehokkaasti kuljettajien käyttämiin nopeuksiin. Yleisin tämän tyyppin hidastin on töyssy. Jos töyssyn kohdalla on suojatie kutsutaan sitä korotetuksi suojatieksi. Muita ratkaisuja ovat korotetut alueet ja korotetut liittymät sekä ajoradan osittaiset korotukset. Töyssytyypit erotetaan toisistaan niiden muodon perusteella. Töyssyn pituusleikkaus voi olla ympyränkaaren muotoinen, tasalakinen tai sinikäyrän muotoinen. Töyssyn pituus voi vaihdella alle puolesta metristä useampaan metriin. Niiden korkeus on yleensä noin 10 cm.

Korotetut alueet ja liittymät sekä yleensä myös korotetut suojatiet muistuttavat tasalakista töyssyä. Korotetulla alueella ja suojatiellä parannetaan jalankulkijoiden turvallisuutta erityisesti vilkkailla jalankulkualueilla. Korotetun alueen pituus voi olla kymmeniä metrejä. Liittymäalueen korottaminen soveltuu tapauksiin, joissa halutaan parantaa kevyen liikenteen turvallisuuden lisäksi autoliikenteen turvallisuutta. Se alentaa tehokkaasti nopeuksia ja sopii hyvin niihin taajamien liittymiin, joissa näkemät ovat huonot.



Kuva 3: Erilaisia töyssytyyppejä (Lahrmann & al 1992).

Ajokaistan osittaiset korotukset eli ns. "tyynyt" (Berliner Kissen/speed cushion) ovat hieman töyssyjä matalampia. Ne on kehitetty tasalakisesta töyssystä, mutta niiden leveys on selvästi pienempi kuin töyssyjen. Kivistä, asfaltista tai kumista tehtyjen korotuksien leveys on alle 1,5 metriä. Niillä vaikutetaan henkilöautojen nopeuksiin. Leveäraideväliset autot voivat ylittää ne korotukseen koskematta. Ajokaistan osittaisia korotuksia käytetään lähinnä 30 km/h:n nopeusrajoitusalueilla sivusiirtymien ja kavennusten yhteydessä. Ne sopivat myös sellaisille kaduille, joilla on linja-autoliikennettä. (Webster 1993.)

Korotusten vaikutuksia kuljettajien käyttämiin nopeuksiin on tutkittu useissa maissa. Taulukkoon 1 on koottu eräiden tutkimusten tuloksia. Taulukossa esitetyt nopeudet on mitattu korotuksen kohdalla.

Taulukko 1: Ajoinnadan korotuksissa mitattuja nopeuksia eri tutkimusten mukaan.

v km/h	v 85% km/h	korotuksen muoto	korkeus cm	pituus m	viiste	maa	lähde
22,4	28,8	Y	10	3,66		GBR	Webster 1993
20,8	27,2	T	10	min 3,70	1:10-1:12	GBR	Webster 1993
	20,6-26,1					GBR	Nykänen 1978, Chadda & al 1985, ITE 1986
22,4-30,4		L			1:10-1:12	GBR	Webster 1993
24			7,5-10	3,6		USA	ITE 1986, 1993
30,4-41,6						USA	Chadda & al 1985, Gorman & al 1989, ITE 1986
	20,8-28,8					AUS	Chadda & al 1985, ITE 1986
24,3	30,5	L				GER	Kockelke 1991
15	18	Y	10	2,5		NOR	NVF 1981
27-30	33-40	Y	8-13	3,6		NOR	NVF 1981
24-26	26-29	Y	10-15	5,0-9,0		NOR	NVF 1981
17-27	18-42	Y	10	3,6		NOR	NVF 1981, Laurén 1984
19		Y	10	4,0		SWE	NVF 1981, Mantere 1987
20		T	10/15	4,5-5,5	1:10	FIN	Hakuli & al 1989
15-35		Y	10	3,7		FIN	Hakuli & al 1989
23		T	10	4,5-5,7	1:10	FIN	Mantere 1987
16-28		T, L	10	6,0 (T)	1:10	FIN	Ympäristöministeriö 1989
						Y=ympyränkaari T=tasalakinen L=korotettu liittymä	
						NVF = Nordisk Vegteknisk Forbund	

Korotuksen muoto vaikuttaa nopeuksiin. Iso-Britanniassa 1970-luvulla tehdyissä tutkimuksissa töyssyn perusmalliksi määritettiin ympyränkaaren muotoinen 10,2 cm korkea ja 3,66 metriä pitkä töyssy. Korkeammat töyssyt olivat ajoneuvoille vaarallisia. Matalammat ja lyhyemmät eivät taas laskeneet nopeuksia yhtä tehokkaasti kuin perusmalli (Webster 1993).

Yhdysvalloissa on tutkittu 5 - 7,5 cm:n korkeita ja 0,2 - 1,0 metriä pitkiä sekä ympyränkaaren muotoisia että tasalakisia töyssyjä (Allen & al 1975). Kokeessa ajettiin töyssyjen yli 8 - 72 km/h nopeuksilla eri ajoneuvotyypeillä. Töyssyjä arvioitiin niiden aiheuttaman ajomukavuuden heikkenemisen perusteella. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että tutkitut töyssyt eivät alenna tehokkaasti ajoneuvojen nopeuksia. Ihannetapauksessa hidaste heikentää ajomukavuutta voimakkaasti, kun nopeus on yli 40 km/h. Tutkituilla töyssyillä tätä ilmiötä ei esiintynyt. Eräissä tapauksissa ajomukavuus jopa parani hieman, kun ylitysnopeus kasvoi. Eräille ajoneuvotyypeille kuten polkupyörille ja moottoripyörille tutkitut lyhyet töyssyt olivat vaarallisia. Muissakin tutkimuksissa on todettu, että lyhyet töyssyt eivät alenna nopeuksia yhtä tehokkaasti kuin pitkät töyssyt. Lyhyet töyssyt heikentävät ajomukavuutta alhaisilla nopeuksilla. Korkeilla nopeuksilla henkilöautojen jousitus vaimentaa niiden tehoa ja ne vaikuttavat vain raskaisiin ajoneuvoihin, joissa on jäykempi jousitus (ITE 1986 ja 1993).

Laitakari ja Alppivuori (1981) mittasivat tutkimuksessaan ajoradan korotuksen vaikutuksia ajomukavuuteen eri ylitysnopeuksilla. Tutkitut korotukset olivat 3,7 m pitkä töyssy ja 8 m pitkä korotettu suojatie, jossa viistekaltevuus oli 1:30. Molempien korotuksien korkeus oli 10 cm. Hidastimet vähensivät selvästi raskaiden ajoneuvojen



ajomukavuutta jo 25 - 30 km/h:n ylitysnopeuksilla. Alle 50 km/h nopeudella henkilöautojen ajomukavuus heikentyi, mutta ei kuitenkaan merkittävästi.

Singaporelaiset Fwa ja Tan (1992) ovat esittäneet, että töyssyn ylitysnopeuteen vaikuttavat töyssyn pituusleikkauksen poikkipinta-ala ja töyssyn pituus. He tekivät mittauksia töyssyillä, joiden pituus oli 1,7 - 4,1 metriä. Töyssyn keskimääräinen ylitysnopeus oli riippuvainen töyssyn pituusleikkauksen poikkipinta-alan ja pituuden suhteesta seuraavan kaavan mukaan:

$$\frac{1}{v} = 0,0298 + 0,4368\left(\frac{A}{W}\right)$$

$v$  = töyssyn keskimääräinen ylitysnopeus (km/h)  
 $A$  = töyssyn pituusleikkauksen poikkipinta-ala (m<sup>2</sup>)  
 $W$  = töyssyn pituus (m)

Tanskassa on tutkittu viime vuosina runsaasti ajoradan korotuksen vaikutuksia. Töyssyjä on rakennettu asuntoalueiden katujen lisäksi pienten taajamien läpiajoteille, joilla nopeusrajoitus on 50 km/h (Jakobsen 1994, Jensen 1995). Korotuksien optimimitat vaihtelevat eri mitoitusnopeuksilla. Taulukossa 2 on esitetty ympyränkaaren muotoisen ja tasalakisen töyssyn suositeltavia mittoja eri mitoitusnopeuksilla kun mitoittavana ajoneuvona on joko henkilö-auto tai linja-auto. Töyssyjen korkeus on 10 cm. Tulokset perustuvat tanskalaiseen tutkimukseen, jossa ajomukavuutta mitattiin pystykihtiä mittaamalla.

Taulukko 2: Ympyränkaaren muotoisen ja tasalakisen töyssyn suositeltavia mittoja eri mitoitusnopeuksilla (Kjemtrup 1988).

mitoitus- nopeus km/h	ajoneuvo- tyyppi	ympyränkaaren muotoinen töyssy		tasalakinen töyssy (tasaisen osuuden pituus 4 - 10 m)	
		pituus, m	säde, m	viisteen pituus, m	viisteen kaltevuus
30	henkilöauto	4,0	20	1,0	1:10
	linja-auto	8,0	80	2,5	1:25
40	henkilöauto	6,5	55	1,7	1:17
	linja-auto	12,0	180	4,0	1:40
50	henkilöauto	9,5	115	2,5	1:25
	linja-auto	16,0	320	6,0	1:60

Lahrmann ja Mathiasen (1992) ovat tutkimuksessaan perehtyneet töyssyn muotoon. Ympyränkaarenmuotoista töyssyä ylittävään ajoneuvoon vaikuttava pystykihtiävyys on heti töyssyn alussa maksimissaan. Sen sijaan sinikäyrän muotoista töyssyä ylitettäessä pystykihtiävyys on alussa nolla ja saavuttaa maksimin vasta alku- ja lakipisteen puolivälissä. Tästä syystä kuljettaja ei sinikäyrän muotoisen töyssyn alussa tunne alkutöytäisyyttä kuten ympyränkaaren muotoista töyssyä ylittäessään. Tällainen töyssy laskee nopeuksia noin 5 - 10 km/h enemmän kuin samankorkuinen ja -pituinen ympyränkaaren muotoinen töyssy. Sinikäyrän muotoiset töyssyt tehoavat erityisesti suurella nopeudella ajaviin. Nopeusrajoituksen yli 10 km/h ylittävien osuus on tanskalaisissa kohteissa vähentynyt hyvin alhaiseksi. Autoilijat suhtautuvat positiivisesti tällaisiin töyssyihin. Niiden ylittäminen on mahdollista myös mitoitusnopeutta suuremmalla nopeudella ilman, että autolle aiheutuisi vaurioita (Jakobsen 1994).

Tasalakisisissa töyssyissä viisteen kaltevuus vaikuttaa nopeuksiin. Kaltevuudet 1:10 - 1:12 ovat suositeltavimpia. Korotetun alueen pituus tulisi olla vähintään kuusi metriä. (Webster 1993). Viisteen kaltevuuden vaikutus  $v_{85\%}$ -nopeuteen korotuksen kohdalla noudattaa Meewesin (1989) mukaan seuraavaa kaavaa:

$$v_{85\%} = 11,5 + 100 \cdot k^{-0,8}$$

$v_{85\%}$  = nopeus (km/h), jonka 85 % autoilijoista alittaa  
k = viisteen kaltevuus prosentteina

Kockelke (1991) on tutkinut tasa-arvoisia liittymiä, joissa liittymäalue on korotettu. Ajoneuvojen lähestymisnopeudet korotetuissa liittymissä olivat noin 4 km/h alhaisempia kuin tavallisissa liittymissä. Liittymäalueella oli nopeusero tätäkin suurempi. Korotetuissa liittymissä  $v_{85\%}$ -nopeus oli 30,5 km/h ja tavallisissa liittymissä 45,7 km/h. Ajoneuvojen hidastuvuus ennen liittymää oli keskimäärin 0,66 m/s<sup>2</sup>.

Kahden korotuksen etäisyys toisistaan vaikuttaa kuljettajien käyttämiin nopeuksiin korotusten välillä. Töyssyjen välillä mitatun keskimääräisen nopeuden riippuvaisuutta töyssyjen välisestä etäisyydestä ovat tutkineet mm. Sumner ja Baguley (1979), Westland (1984) sekä Webster (1993). Webster on esittänyt mittaustensa tuloksena seuraavat kaavat:

ympyränkaaren muotoiset töyssyt:

$$v = 1,6 \cdot (12,10 + 0,092 \cdot s) \quad v_{85\%} = 1,6 \cdot (16,73 + 0,087 \cdot s)$$

tasalakiset töyssyt:

$$v = 1,6 \cdot (11,06 + 0,090 \cdot s) \quad v_{85\%} = 1,6 \cdot (12,95 + 0,107 \cdot s)$$

v = keskimääräinen nopeus töyssyjen välillä (km/h)  
 $v_{85\%}$  = nopeus (km/h), jonka 85 % autoilijoista alittaa  
s = töyssyjen välinen etäisyys (m)

Töyssyjen välinen etäisyys ei Websterin mukaan saisi ylittää 150 metriä eikä olla alle 20 metriä. Töyssyn etäisyys liittymästä tai kaarteesta tulisi olla alle 40 metriä. Kun töyssyväli on 40 metriä, niin 85 prosenttia autoilijoista ajaa alle 32 km/h nopeudella.

Nielsen (1994) on tutkinut ympyränkaaren muotoisten töyssyjen välisen etäisyyden vaikutuksia nopeuksiin. Tutkimuksessa mitattiin ajoneuvon nopeus töyssyosuuden ensimmäisellä töyssyllä ja ajoneuvon maksiminopeus kahden töyssyn välillä. Mittauksilla selvitettiin sitä töyssyjen välistä etäisyyttä, jolla näiden kahden kohdan nopeusero on pienin. Kun nopeusrajoitus oli 40 km/h, nopeusero oli pienimmillään töyssyetäisyyksillä 76 - 95 metriä. Nopeusrajoitusalueella 50 km/h vastaava etäisyys oli 150 metriä.

Espoon Karakalliontiellä tutkittiin 1980-luvun alussa korotettujen suojateiden välisiä nopeuksia. Korotusten pituus oli 9,3 m, korkeus 10 cm ja viisteen kaltevuus 1:30 (Espoon kaupunki 1983). Kadulla oli 50 km/h nopeusrajoitus. Toisessa mittauspaikassa korotusten etäisyys oli 70 metriä ja toisessa 295 metriä. Lyhemmällä korotusvälillä keskinopeus oli 43 km/h ja  $v_{85\%}$ -nopeus 52 km/h. Pitkällä välillä vastaavat nopeudet olivat 53 km/h ja 60 km/h (Pursula 1981).



Myös viisteen kaltevuus vaikuttaa kuljettajien korotusten välillä käyttämiin nopeuksiin. Kahden korotetun alueen välillä mitatun  $v_{85\%}$ -nopeuden riippuvaisuus viisteen kaltevuudesta ja korotusten välisestä etäisyydestä noudattaa Meewesin (1989) mukaan seuraavaa kaavaa:

$$v_{85\%} = 48 \cdot e^{[k/100 \cdot (0,046 \cdot s - 5,7)]}$$

$v_{85\%}$  = nopeus (km/h), jonka 85 % autoilijoista alittaa

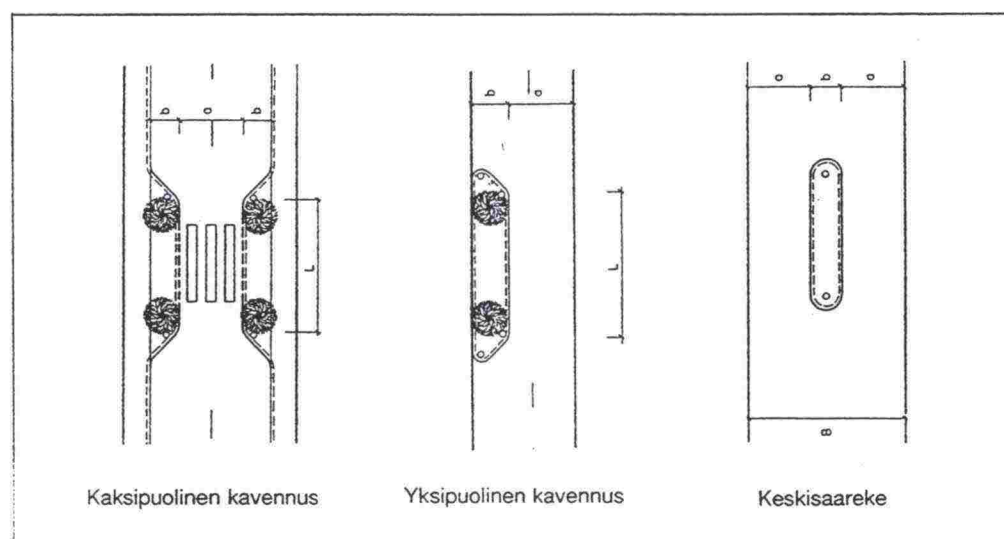
$k$  = viisteen kaltevuus (%)

$s$  = kahden korotuksen välinen etäisyys (m)

Neussissa Saksassa on tutkittu ajoradan osittaisia korotuksia. Ne laskivat kuljettajien käyttämiä nopeuksia 8 - 15 km/h ja keskinopeudet katuosuuksilla olivat 36 - 44 km/h. Berliinissä  $v_{85\%}$ -nopeudet laskivat näillä hidastimilla 50 km/h:sta 24 km/h:iin. (Mayer 1988, Pharaoh 1991, Baier 1992, Webster 1993, The Department of Transport of Transport 1994a.)

## 2.4 Kavennukset

Kavennus voidaan rakentaa joko yksipuolisena tai kaksipuolisena kavennuksena. Tietä voidaan kaventaa myös keskisaarekkeella. Tien kaventaminen vaikuttaa nopeuksiin kahden tekijän vaikutuksesta. Ensimmäinen tekijä on törmäysvaara, joka kasvaa kapeammalla ajoradalla tai kaistalla. Toinen tekijä on optinen vaikutus, koska kuljettajan näkökenttä kapenee kavennuksessa (Der Minister... 1979 ja Pharaoh 1991). Kavennukset eivät ole kovin tehokkaita nopeudenalentamiskeinoja vähäliikenteisillä teillä, koska väistettävää vastaantulevaa liikennettä on vähän (Tielaitos 1991).



Kuva 4: Erilaisia kavennustyyppejä (Tielaitos 1991).

Kavennukset voivat aiheuttaa ongelmia suurikokoisille ajoneuvoille. Tällaisissa tapauksissa osa kavennuskorokkeesta voidaan tehdä matalammaksi ja päällystää kiveyksellä. Levennys toimii varatilana isoille ajoneuvoille mutta henkilöauton kuljettajat välttävät ajamasta tälle karkeapintaiselle osalle. (Pharaoh 1991 ja The Department of Transport 1993c.)

Tien leveys vaikuttaa nopeuksiin (Mäntynen & al 1983, Kayser & al 1990, Meschik 1990, Wyatt 1995). Mittaustulosten perusteella on muodostettu malleja, joilla voidaan määrittää sekä ajoradan hyötyleveyden että tieympäristön rajaaman optisen leveyden vaikutus kuljettajien käyttämiin nopeuksiin. Ajoradan hyötyleveys on ajoradan vapaan tilan leveys. Ajoradan hyötyleveyden ja tien optisen leveyden vaikutukset  $v_{85\%}$ -nopeuteen ovat seuraavat (Kayser & al 1990):

ajoradan hyötyleveys:

$$v_{85\%} = 30,18 + 3,25 \cdot l_h$$

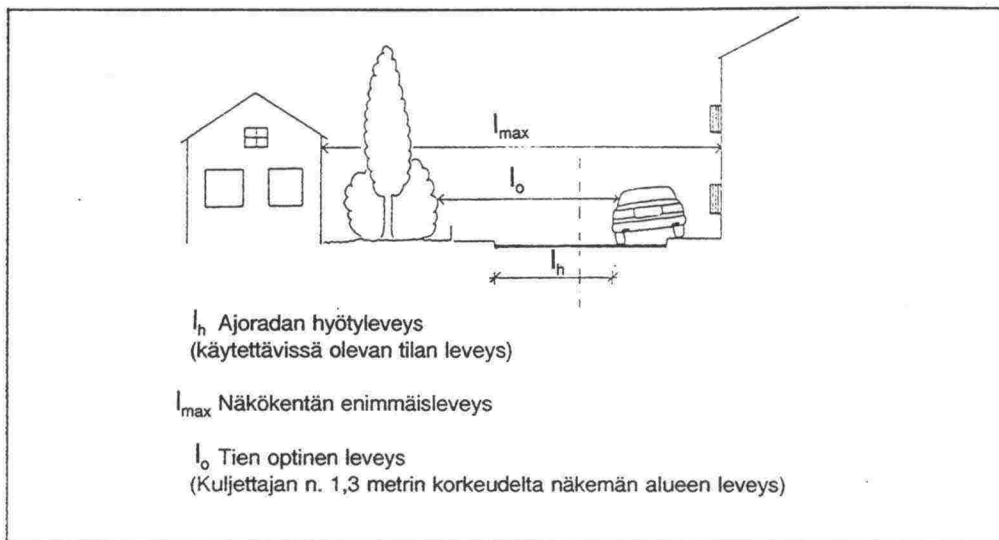
tien optinen leveys:

$$v_{85\%} = 41,19 + 0,56 \cdot l_o$$

$v_{85\%}$  = nopeus (km/h), jonka 85 % autoilijoista alittaa

$l_h$  = ajoradan hyötyleveys (m)

$l_o$  = tien optinen leveys (m)



Kuva 5: Ajoradan leveyteen liittyviä käsitteitä (Meschik 1990).

Saksalaisessa tutkimuskohteessa kavennusten lähellä osa tien pinnasta päällystettiin betonikivillä ja kavennusten yhteyteen istutettiin puita, joilla pienennettiin tien optista leveyttä. Tutkitut tiet olivat 6,0 - 8,0 metriä leveitä. Kavennusten kohdalla niiden leveys oli 5,0 - 5,5 metriä. Liikennemäärät näillä pienten taajamien läpiajoteilla olivat alle 4000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Ennen kavennusten rakentamista nopeuksien keskiarvo oli 65,3 km/h ja niiden toteuttamisen jälkeen 60,3 km/h. Nopeuksien hajonta pieneni noin 1,5 km/h. (Kockelke & al 1988).

Iso-Britanniassa Stratton-on-the-Fossen kylässä läpiajotielle rakennettiin yksi- ja kaksipuolisia kavennuksia noin 100 metrin välein. Läpiajotien leveys on 6,5 metriä ja kavennusten kohdalla 3,2 metriä. Tien keskivuorokausiliikennemäärä oli noin 5000 ajoneuvoa. Kavennusten kohdalla kylän keskustasta ulospäin tulevalla liikenteellä on etuajo-oikeus suhteessa keskustaan päin ajaviin. Hidasteiden toteuttamisen jälkeen taajaman sisällä 48 km/h (30 mph) nopeakrajoituksen ylitti 5 - 17 prosenttia autoilijoista. Aiemmin osuus oli ollut noin 70 prosenttia. (Wheeler & al 1994.)



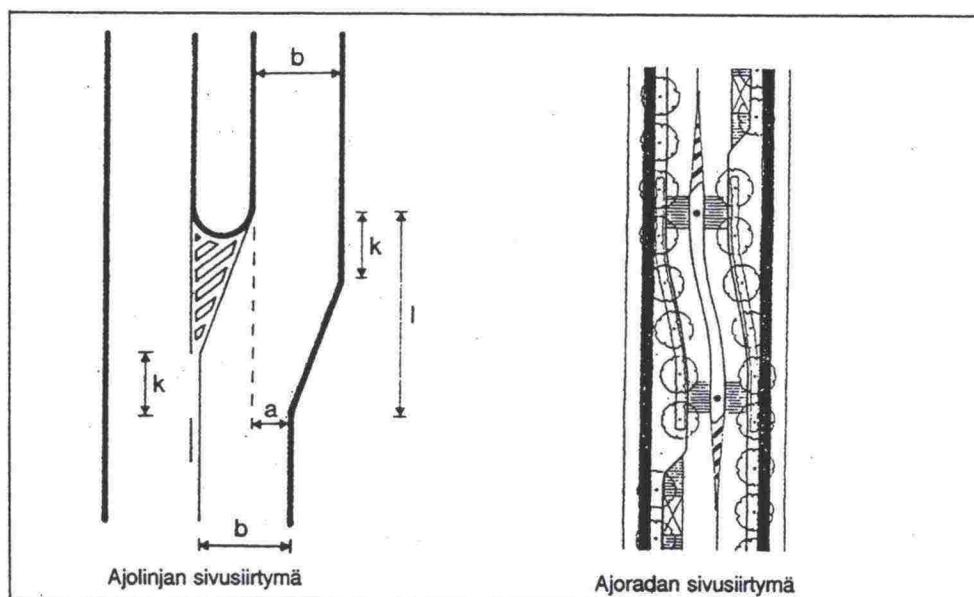
Tanskassa on myös tutkittu pienten taajamien pääväylän liikenteellisen rauhoittamisen vaikutuksia nopeuksiin. Liikennemäärät teillä olivat 2500 - 3900 ajoneuvoa vuorokaudessa. Kavennukset on rakennettu joko yksipuolisina tai keskisaarekkeen avulla. Ajonopeudet laskivat hieman. Nopeuksien hajonta pieneni, koska hidastimet vähensivät erityisesti suurimpia nopeuksia. (Vejdirektoratet 1987 ja 1988a.)

Tanskassa Lyngby-Tårnbækkin kunnassa on rakennettu 37 metriä pitkä kavennus koulun kohdalle. Tien leveys kavennuksen kohdalla on 2,8 metriä ja muualla 6,0 metriä. Kavennuksen optista vaikutelmaa on tehostettu molemminpuolisilla puustituksilla. Mittaustulokset osoittivat, että tämä ratkaisu laski nopeuksia selvästi. Ajoneuvojen keskinopeudet olivat ennen toteutusta noin 50 km/h ja toteutuksen jälkeen 41 km/h. Tanskan Ålborgissa 8,0 metriä leveän ajoradan kaventaminen 1,7 metriä leveällä keskisaarekkeella laski ajoneuvojen keskinopeudet 64 km/h:sta 59 km/h:iin. Norjassa 7,5 metriä leveälle tielle rakennetut 1,5 metriä leveät keskisaarekkeet laskivat nopeuksia samoin 5 km/h. (Nordisk Vegteknisk Forbund 1981.)

Kavennuksien vaikutukset nopeuksiin olivat Marconin (1977) Yhdysvalloissa tekemän tutkimuksen mukaan vähäisiä. Tutkimuskohteissa kavennukset oli tehty kuitenkin niin, että ajoradan leveys oli niiden rakentamisen jälkeen vielä varsin leveä, 6,6 metriä. Yhdysvalloissa on kokeiltu myös maalaamalla kavennetun ajoradan vaikutusta kuljettajien käyttämiin nopeuksiin. Ajokaistat kavennettiin 2,7 metrin levyisiksi 8,5 ja 11,0 metriä leveillä teillä. Lumin (1983) mukaan ajonopeudet eivät juuri alentuneet.

## 2.5 Sivusiirtymät

Sivusiirtymässä autoilija pakotetaan ajolinjaa muuttamalla laskemaan nopeuttansa. Sivusiirtymätyypit ovat ajoradan ja ajolinjan sivusiirtymä. Ajolinjan sivusiirtymä on etenkin keskisaarekkeen avulla toteutettuna tehokkaampi ratkaisu kuin ajoradan sivusiirtymä silloin, kun liikennettä on vähän. Muotoilulla saadaan sivusiirtymät näyttämään todellista suuremmilta ja jyrkemmiltä. Sivusiirtymän reunoille voidaan istuttaa esimerkiksi puita. (Mäntynen & al 1983, Tielaitos 1994.)



Kuva 6: Sivusiirtymätyypit (Vejdirektoratet 1989, Schnüll & al 1989).

Ajolinjan sivusiirtymiä on tutkittu suljetulla radalla sekä Tanskassa että Iso-Britanniassa. Suurien ajoneuvojen mitoitusvaatimukset aiheuttavat ongelmia. Brittitutkimuksen (Sayer & al 1994, The Department of Transport 1994b) mukaan linja-autojen nopeus on noin 16 km/h sellaisessa ajolinjan sivusiirtymässä, joka on mitoitettu niin, että henkilöautojen nopeus siinä on noin 32 km/h. Raskaita ajoneuvoja varten suunnitellussa ratkaisussa sivusiirtymä rakennetaan loivemmaksi karkeapintaisen levennyksen avulla (Vejdirektoratet 1989). Henkilöautoilijat pyrkivät välttämään tätä epätasaista oikaisua, mutta raskaiden ajoneuvojen kuljettajat voivat hyödyntää sitä. Näin niiden nopeudet eivät laske liian alhaisiksi sivusiirtymässä.

Ajolinjan sivusiirtymä saadaan erityisen tehokkaaksi silloin siirtymä on suurempi kuin ajokaistan leveys. Kun ajolinjan sivusiirtymän suuruus on ajokaistan leveys+1 metriä nopeudet laskevat noin 16 km/h enemmän verrattuna ratkaisuun, jossa siirtymän suuruus on ajokaistan leveys-1 metri. Näköesteet sivusiirtymän yhteydessä laskevat nopeuksia 3 - 6 km/h. Jos sivusiirtymiä on kaksi peräkkäin ovat nopeudet noin 8 km/h alhaisempia kuin yksittäisessä sivusiirtymässä. (Sayer & al 1994, The Department of Transport 1994b.)

Tanskassa on tehty nopeusmittauksia kohteissa, joissa on rakennettu ajolinjan sivusiirtymä keskisaarekkeen avulla. Kaikissa kolmessa mittauskohteessa nopeusrajoitus on 50 km/h. Siirtymän suuruus on pienempi kuin ajokaistan leveys. Siirtymän mitoitus kohteissa on tehty raskaan liikenteen ehdoilla. Mitatut keskinopeudet olivat 49,4 - 57,8 km/h. Henkilöautojen  $v_{85\%}$ -nopeudet olivat 55,5 - 66,2 km/h, mitkä olivat lähes 10 km/h korkeammat kuin raskailla ajoneuvoilla. (Vejdirektoratet 1989.)

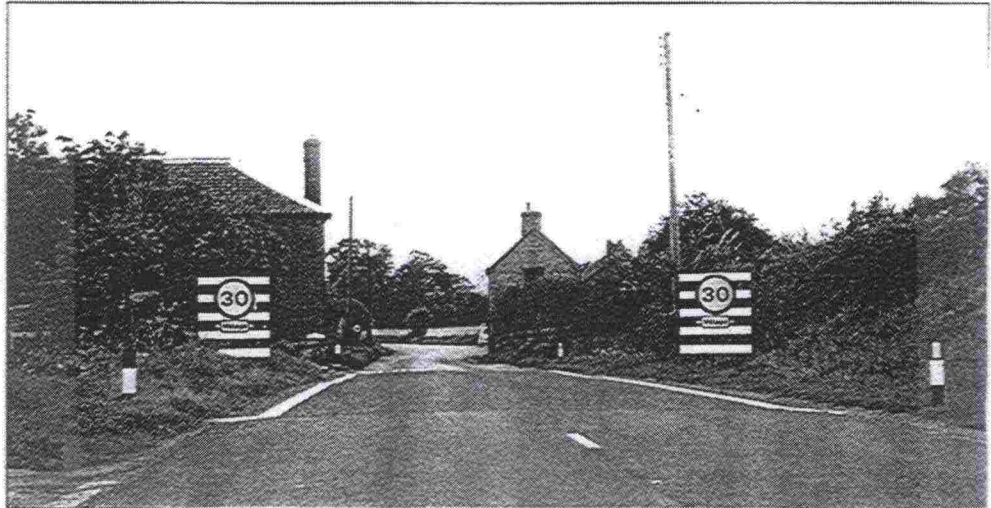
Ajolinjan sivusiirtymä voidaan rakentaa kahdella peräkkäisellä yksipuolisella kavennuksella, jotka ovat tien eri laidoilla. Tanskalaisissa ja norjalaisissa kohteissa ajoneuvojen keskinopeudet ovat olleet 30 - 35 km/h ratkaisuisa, joissa kavennuselementti ulottuu lähes tien keskilinjalle ja kahden elementin välinen etäisyys on 7 - 15 metriä (Nordisk Vegteknisk Forbund 1981). Saksassa vastaanvanlaisissa ratkaisuisa  $v_{85\%}$ -nopeudet olivat noin 40 - 50 km/h (Meewes 1989). Alempi arvo saavutetaan ratkaisussa, jossa kavennusten yhteenlaskettu leveys on suurempi kuin ajoradan leveys. Nopeustaso on tällaisella kadulla tasainen koko sen pituudella, mikäli sivusiirtymien väli ei ylitä 60 metriä. Vastaavan suuruinen vaikutus nopeustasoon saataisiin aikaan töyssyillä, joiden viisteen kaltevuus on 1:20. Töyssyt olisivat kuitenkin huonompi ratkaisu, koska nopeustaso ei silloin pysyisi tasaisena koko hidastinosuudella.

Hollannissa on rakennettu ajoradan sivusiirtymiä taajaman sisääntulokohtiin. Näissä on kaksi peräkkäistä, vastakkaiseen suuntaan olevaa ajoradan sivusiirtymää. Tien sivuttaispoikkeama on noin 20 metriä. Keskinopeudet laskivat Reimsvaalissa toteutetussa ratkaisussa 55 km/h:sta 28 km/h:iin. Ajoneuvojen hidastuvuudet ennen sivusiirtymää olivat keskimäärin alle 1 m/s<sup>2</sup> ja mitattu maksimihidastuvuus oli 2,0 m/s<sup>2</sup>. (Westland 1989.)

## 2.6 Porttikohdat

Porttikohdilla ilmaistaan tienkäyttäjille taajamaan saapuminen ja/tai tiejakson luonteen muuttuminen. Niitä käytetään, koska pelkkä taajamamerkki ei yleensä vaikuta kuljettajien käyttämiin nopeuksiin (Lajunen & al 1994). Porttikohtia voidaan muodostaa mm. rakennusten ja kasvillisuuden, pintamateriaalien sekä näihin liittyvien hidastimien avulla (Tielaitos 1994).





Kuva 7: Porttikohta (The Department of Transport 1993a).

Saksalaiset Kayser, Feldges ja Heß (1989) ovat tutkineet taajamiin saapuvia teitä. Tutkimuksensa johtopäätöksinä he esittävät seuraavia asioita:

- pelkkä tien kaventaminen ei laske nopeuksia, jos taajamaan saapuvan tien linjaus on suora
- tien pintamateriaalin muuttaminen ja puuistutukset laskevat nopeuksia hieman
- puita ja pensaita ei tule sijoittaa niin, että ne muodostavat putken, jossa muu ympäristö katoaa kuljettajan näkökentästä
- nopeudet alenevat selvästi, jos taajamaan saapumiskohdassa on kiertoliittymä tai keskikorokkeen avulla rakennettu sivusiirtymä
- nopeustaso säilyy alhaisena pitkällä tiejaksolla, kun ajodynamiikkaan vaikuttavia toimenpiteitä toistetaan sopivin välein
- taajamaa osoittavaa merkkiä ei tulisi asettaa liian kauas varsinaisesta taajama-alueesta, koska tieympäristö ja nopeusrajoitus eivät ole silloin sopusoinnussa ja nopeusrajoitusta ei noudateta.

Iso-Britannian tutkimuksissa on havaittu samanlaisia vaikutuksia kuin Saksassa. Porttikohdan nopeuksia alentava vaikutus ei ulotu laajalle. Porttikohdat voivat alentaa nopeuksia jopa 10 km/h. Mutta mikäli nopeudenalentamiskeinojen käytössä ei ole jatkuvuutta, nopeudet taajaman keskiosissa eivät laske juuri lainkaan. Porttikohtaa ei tulisi sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa nopeudet laskevat luonnostaankin. Näitä kohtia ovat esimerkiksi mäenharjanteet tai mutkat. (The Department of Transport 1993d.)

Feather ja Beckett (1994) tutkivat porttiratkaisuja Wiltshiren alueella Englannissa. Porttikohdissa oli 20 metriä pitkä punainen päällyste ja maalaamalla toteutettu ajoradan kavennus. Lisäksi ennen porttikohtaa tiessä oli poikittaisia punaisia päällysteraitoja. Ajoneuvojen  $v_{85\%}$ -nopeudet porttikohdalla olivat 48 km/h:n (30 mph) nopeusrajoitusalueella 53 - 62 km/h ja 64 km/h:n (40 mph) nopeusrajoitusalueella 61 - 75 km/h. Molemmilla nopeusrajoitusalueilla nopeudet olivat laskeneet noin 10 km/h. Porttikohdasta 400 metriä taajaman keskustaan päin  $v_{85\%}$ -nopeudet olivat 48 km/h:n nopeusrajoitusalueella 54 km/h ja 64 km/h:n nopeusrajoitusalueella 66 km/h. Nopeudet olivat laskeneet kyseisillä kohdilla 5 - 6 km/h.

Wheelerin, Taylorin ja Barkerin (1994) tutkimus tehtiin 24 kylässä eri puolilla Iso-Britanniaa. Liikennemäärät tutkimuskohteissa olivat 1400 - 4000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Kylissä oli kolmenlaisia porttiratkaisuja:

- kyltit ja vähäisiä tiemerkintöjä
- kyltit, näkyvät tiemerkinnät/värillinen tien pinta ja vähäinen kavennus
- rakenteellisia hidastimia (kavennus, kivetty tienpinta)

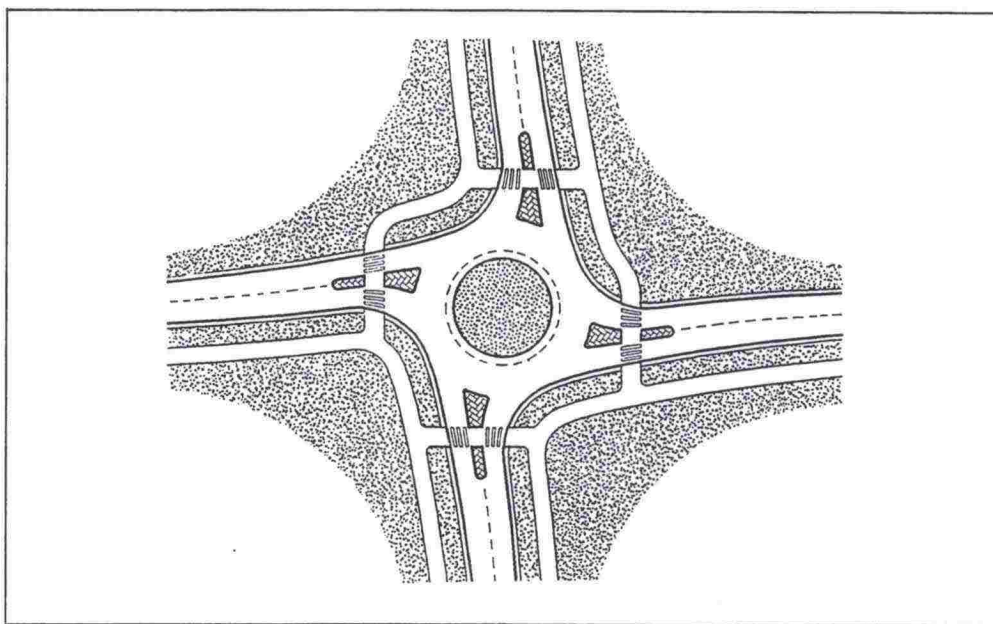
Kohteissa, joissa oli rakenteellisia hidastimia porttikohdissa  $v_{85\%}$ -nopeudet laskivat jopa 16 km/h. Mikäli porttikohdassa oli vain kyltit nopeudet laskivat enimmillään noin 5 km/h. Jos porttikohtien lisäksi taajaman keskustassa oli tehty toimenpiteitä nopeuksien alentamiseksi, niin nopeudet porttikohdissa olivat alhaisempia kuin niissä kohteissa, joiden keskustoissa ei oltu tehty mitään toimenpiteitä.

Tanskassa Vinderupin kylässä porttikohdassa on puuistutuksia ja 40 km/h:n nopeusrajoitusmerkki. Porttikohdalla nopeudet olivat ennen porttikohdan rakentamista 64 km/h ja rakentamisen jälkeen 55 km/h. Liikennemäärä tiellä on 3900 ajoneuvoa vuorokaudessa (Vejdirektoratet 1987). Tanskassa on esimerkiksi Gramin kylässä toteutetussa porttiratkaisussa porttikohdan visuaalista näkyvyyttä tehostettu valaistuksella, keskisaarekkeella ja tien molemmin puolin olevilla kylteillä (Villadsen 1995).

## 2.7 Muita hidastintyyppejä

### 2.7.1 Kiertoliittymä

Kiertoliittymä alentaa nopeuksia ja helpottaa sivuteiltä päätielle liittymisiä. Kiertoliittymä suunnitellaan siten, että ajonopeudet liittymäalueella ovat 20 - 40 km/h (Tielaitos 1993). Suuret kiertoliittymät aiheuttavat kevyelle liikenteelle ylimääräistä matkaa. Sen vuoksi taajamissa kiertosaareke on yleensä pieni. Kiertoliittymä soveltuu myös porttikohdaksi (Tielaitos 1994).



Kuva 8: Kiertoliittymä.



Pienten kiertoliittymien vaikutuksia ajoneuvojen nopeuksiin on tutkinut Ruotsissa Vårheli (1993). Tutkimuksen kohteena olivat Växjön kaupungin pääkatujen 21 liittymään rakennetut pienet kiertoliittymät. Liikennemäärä kaduilla oli 1 450-10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Ennen kiertoliittymien rakentamista keskimääräinen ajonopeus pääkaduilla, liittymien välisillä osuuksilla oli 53 km/h ja niiden rakentamisen jälkeen 45 km/h. Liittymissä nopeustaso oli ennen kiertoliittymää 48 km/h. Kiertoliittymissä mitattiin ajoneuvojen keskinopeudeksi 35 km/h. Nopeuksien hajonta liittymissä laski, koska korkeimmat nopeudet alenivat. Pääkatuun liittyvillä teillä nopeustaso nousi hieman, mutta oli vielä varsin alhainen, 21 km/h. Kiertoliittymän vaikutus nopeuksiin on suuri jo silloin, kun keskisaarekkeen aiheuttama sivusiirtymä on 1,5 metriä. Tätä suuremmilla sivusiirtymillä nopeudet kiertotilassa eivät enää laske vaan ovat noin 30 km/h. Kun kiertoliittymien välinen etäisyys on suurempi kuin 150 metriä, liittymän vaikutus nopeuteen liittymävälillä on olematon.

Marconin (1977) Yhdysvalloissa tekemän tutkimuksen mukaan kiertoliittymät laskevat nopeuksia tehokkaasti. Kuudessa kohteessa ennen kiertoliittymän rakentamista  $v_{95\%}$ -nopeudet olivat 45 - 53 km/h ja niiden rakentamisen jälkeen 22 - 40 km/h. Kiertoliittymän nopeuksia alentava vaikutus ulottui noin 75 metrin etäisyydelle liittymästä.

Saksalaisessa Neussin kaupungissa on rakennettu pieni kiertoliittymä 30 km/h nopeusrajoitusalueelle. Ajoneuvojen nopeudet olivat kiertoliittymän kohdalla 11 - 28 km/h alhaisempia kuin kadun muissa kohdissa (Baier 1992).

Hollannissa Reimerswaalin taajaman sisään tulokohtaan on rakennettu kiertoliittymä. Ajoneuvojen keskinopeudet laskivat kiertoliittymän rakentamisen seurauksena liittymän kohdalla 45 km/h:stä 25 km/h:iin ja  $v_{85\%}$ -nopeudet 61 km/h:sta alle 31 km/h:iin. Kiertoliittymän vaikutus nopeuksiin alkaa noin 150 metriä ennen liittymää ja päättyy noin 100 metriä liittymän jälkeen. Ajoneuvojen keskimääräinen hidastuvuus ennen kiertoliittymää oli alle 1 m/s<sup>2</sup> ja mitattu maksimihidastuvuus 2,2 m/s<sup>2</sup>. (Westland 1989.)

### 2.7.2 Heräteraidat

Heräteraidat ovat tien pinnalla olevia poikittaisia uria tai kohoumia. Niitä käytetään esimerkiksi nopeusrajoitusmerkin yhteydessä, taajamaa lähestyttäessä tai ennen kiertoliittymää. (The Department of Transport 1993b, Harwood 1995.)

Heräteraitojen vaikutuksia tutkineen Marconin (1977) mukaan asuntokaduilla olevat 2 - 4 cm korkeat asfalttiraidat laskivat ajoneuvojen nopeuksia 0 - 24 km/h. Eri kohteissa mitatut  $v_{95\%}$ -nopeudet olivat 26 - 48 km/h. Iso-Britanniassa heräteraitoja käytetään esimerkiksi nopeusrajoituksen muuttuessa taajaman porttikohdassa (The Department of Transport 1993b). Sen sijaan asuntoalueilla niitä ei suositeta, koska ne aiheuttavat melua. Raidan maksimikorkeus on Iso-Britanniassa 15 mm. Websterin (1993) mukaan ne voivat laskea nopeuksia jopa 10 prosenttia.

### 3 KENTTÄTUTKIMUKSET

#### 3.1 Mittausmenetelmät

##### 3.1.1 Ajoneuvoseuranta

Ajoneuvoseuranta on mittausmenetelmä, jossa mitataan edellä ajavan ajoneuvon nopeutta. Seurannassa olevaa ajoneuvoa pyritään seuraamaan siten, että jokaisessa tienkohdassa mittausajoneuvon nopeus on sama kuin seurattavan ajoneuvon.

Ajoneuvoseuranta tehtiin henkilöautolla, jossa on ajoanalysaattori. Mittauksissa käytettiin ajoanalysaattorina Jamar TDC-8 liikenneanalysaattoria. Nopeustiedot tallentuvat yhden sekunnin välein ajoanalysaattorin muistiin. Kiintopistetiedot ja mahdolliset tapahtumakoodit syötettiin laitteen muistiin käsin. Tällaisia tapahtumakoodeja olivat esimerkiksi väistäminen ja pysähtyminen seurannan aikana.

Ajoneuvoseuranta pyrittiin tekemään noin 20 - 30 metrin etäisyydellä edellä kulkevaan ajoneuvoon. Ajoneuvoseurantojen lukumäärä on riippuvainen mittauskohteen liikennemäärästä. Eräissä mittauskohteissa liikenne oli niin vähäistä, että osa mittausajoista tehtiin ilman seurantaa. Jokaisessa kohteessa käytettiin 2 - 3 kuljettajaa.

##### 3.1.2 Tutkamittaus

Tutkalla mitattiin ajoneuvojen hetkellisiä nopeuksia hidastimien kohdalla ja niiden lähistöllä. Mikäli mittauskohteessa tehtiin videokuvauksia, suoritettiin tutkamittaus samalla kohdalla. Tutka ja mittausauto sijoitettiin mahdollisimman vähän huomiota herättävään paikkaan. Tutkamittauksen kesto oli kohteesta riippuen 0,5 - 1,0 tuntia.

##### 3.1.3 Videokuvaus

Videokuvauksessa käytettiin tavallista VHS-kameraa. Videonauhoituksia tehtiin lähinnä ajokäyttäytymistarkasteluja varten kolmessa mittauskohteessa. Kahdessa kohteessa kuvattiin ajokäyttäytymisen lisäksi sivukuvaa töyssyn kohdalla. Näistä nauhoituksista määritettiin ajoneuvon nopeus töyssyn kohdalla. Maastoon tehtiin viiden metrin välein merkintä, joka näkyy videokuvassa. Videon linssistä johtuva perspektiivivirhe otettiin huomioon osoittamalla mittapisteet myös tien vastakkaiselta puolelta. Kuvauksia tehtiin sekä kahdella kiinteällä kameralla että yhdellä liikkuvalla kameralla. Kahden kiinteän kameran kattaman kuva-alan pituus oli yhteensä 40 metriä. Liikkuvan kameran seurantamatka oli 45 metriä. Kiinteällä kameralla tehdyistä nauhoituksista otettiin muistiin ajoneuvon sijainti ja aika 2,5 metrin välein, liikkuvan kameran nauhasta viiden metrin välein.



## 3.2 Mittauskohteet ja mittaustulokset

### 3.2.1 Yleistä mittauksista

Kenttämittaukset tehtiin marras-joulukuussa 1994 ja huhti-toukokuussa 1995 kahdessatoista kohteessa. Pääkaupunkiseudun mittauskohteista Laaksolahdentie, Pikkulinnunreitti, Karakalliontie ja Kirstintie sijaitsevat Espoossa ja Itämerenkatu Helsingissä. Turun tiepiiristä oli mukana kaksi kohdetta, Sauvo ja Paimio. Tammelan ja Kyröskosken mittauskohteet sijaitsevat Hämeen tiepiirissä. Keski-Suomen tiepiirin alueelta valittiin mittaustaikoiksi Keuruu ja Lievestuore. Kaakkois-Suomen tiepiirissä mittaukset tehtiin Anttolassa. Mittauskohteiden kartat ovat liitteissä.

Mittauksissa tutkittiin ajoradan korotuksia, kavennuksia, sivusiirtymiä, keskisaarekkeita ja kiertoliittymiä. Jokaisessa kohteessa tehtiin sekä ajoneuvoseurantaa ajoanalysaattorilla että tutkamittauksia. Näiden lisäksi kolmessa kohteessa tehtiin videokuvauksia. Eräissä kohteissa ajoanalysaattorimittauksia tehtiin vähäisen liikenteen vuoksi myös ilman seurantaa. *Taulukossa 3* on lueteltu tehdyt tutkimukset kohteittain.

*Taulukko 3: Mittauskohteissa tehdyt tutkimukset.*

MITTAUSKOHDE	MITTAUSMENETELMÄ		
	AJOANALYSAATTORI seuranta / ei seurantaa	TUTKAMITTAUS	VIDEOKUVAUS
LAAKSOLAHDENTIE, ESPOO	19 / 14	töyssyt: 2 h kavennukset: 1 h	töyssyt: 2 h kavennukset: 1,5 h
PIKKULINNUNREITTI, ESPOO	20 / 2	töyssyt: 2 h	-
KARAKALLIONTIE, ESPOO	25 / 3	töyssyt: 2 h	-
SAUVO PT 12076	5 / 15	kavennukset: 0,5+0,5 h töyssyt: 45 min	kavennukset: 1 h töyssyt: 0,5 h
PAIMIO MT 235	28 / 1	saareke: 1 h	-
ANTTOLA PT 15145	11 / 25	kiertoliittymä: 0,5 h	kiertoliittymä: 3 h
KIRSTINTIE, ESPOO	32 / 0	sivusiirtymä: 1 h kavennus: 1 h	-
ITÄMERENKATU, HELSINKI	39 / 0	sivusiirtymä: 1+1 h suora osuus: 1 h	-
TAMMELA PT 13593	23 / 0	korotettu alue: 1 h liittymä: 1 h	-
KYRÖSKOSKI MT 276	39 / 0	kiertoliittymä: 1 h keskisaareke: 1 h	-
KEURUU PT 16511 ja PT 16512	58 / 0	korotettu suojatie: 0,5 h keskisaareke: 1 h suora osuus: 1 h	-
LIEVESTUORE MT 6403	35 / 0	keskisaareke: 1 h suora osuus: 1 h	-

Liikennemäärät mitattiin tutkimittausten yhteydessä. Vilkkainta liikenne oli Itämerenkadulla Helsingissä, jossa yhden suunnan liikennemäärä oli 500 ajoneuvoa tunnissa. Muita kohteita, joissa yhden suunnan tuntiliikennemäärä oli yli 200 ajoneuvoa, olivat Kyröskoski ja Keuruu. Liikennemäärät olivat osassa kohteista varsin alhaisia. Pienimmät liikennemäärät mitattiin Laaksolahdentien töyssyosuudella Espoossa, jossa tuntiliikennemäärä molemmat suunnat yhteenlaskettuna oli 30 ajoneuvoa tunnissa. Liikenne oli hiljaista myös Pikkulinnunreitillä Espoossa ja Sauvossa. *Taulukossa 4* on esitetty mittauskohteiden tuntiliikennemäärät ja niiden mittausajat.

*Taulukko 4: Mittauskohteiden tuntiliikennemäärät.*

MITTAUSKOHDE	LIIKENNEMÄÄRÄ, AJON/H molemmat suunnat yhteensä	MITTAUSAIKA viikonpäivä ja kellonaika
LAAKSOLAHDENTIE		
töyssyosuus	30	ke 9.38 - 11.41
kavennusosuus	90	ke 12.49 - 14.26
PIKKULINNUNREITTI	50	to 9.09 - 11.12
KARAKALLIONTIE	200	to 12.56 - 14.55
SAUVO PT 12076		
kavennusosuus	50	ti 11.37 - 12.55
töyssyosuus	80	ti 15.10 - 15.54
PAIMIO MT 235	200	ke 11.30 - 12.30
ANTTOLA PT15145		
pt 15145	70 - 110	pe 10.30 - 13.30
kaavatiet	40 - 50	pe 10.30 - 13.30
KIRSTINTIE, ESPOO	275	to 10.51 - 11.51 to 12.21 - 13.21
ITÄMERENKATU, HELSINKI		
sivusiirtymä	500 (vain vilkkaampi suunta)	pe 8.57 - 9.57, 14.44 - 15.44
suora osuus	660 (430+230)	ke 9.43 - 10.38
TAMMELA PT 13593		
korotettu alue	150	ma 9.22 - 10.22
liittymä	80	ma 13.37 - 14.37
KYRÖSKOSKI MT 276		
kierkoliittymä	200 (yksi suunta)	ti 9.27 - 10.27
keskisaareke	270 (yksi suunta)	ti 14.33 - 15.33
KEURUU PT 16511 ja PT 16512		
korotettu suojaatie	310 (yksi suunta)	ke 10.45 - 11.45
pt 16512	370 - 415	ke 14.34 - 16.35
LIEVESTUORE MT 6403	235 (aamupäivä) - 365 (iltapäivä)	to 9.41 - 10.41, 15.32 - 16.32



Mittaukset tehtiin kello 9 ja 17 välisenä aikana. Kaikissa kohteissa oli mittausten aikana sateetonta. Tien pinta oli kuiva lukuunottamatta Laaksolahdentietä ja Anttolaa. Anttolassa tien pintaa peitti tiivistynyt lumikerros. Kunkin mittauskohteen mittauspäivät ja niiden aikaiset sää- ja kelitiedot on esitetty taulukossa 5.

*Taulukko 5: Kenttätutkimuskohteet, mittauspäivät sekä sää- ja kelitiedot.*

MITTAUSKOHDE	MITTAUSPÄIVÄ	SÄÄ JA KELI
LAAKSOLAHDENTIE, ESPOO	ke 23.11.1994	pilvinen, +1 °C tien pinta: märkä
PIKKULINNUNREITTI, ESPOO	to 24.11.1994	puolipilvinen, +5 °C tien pinta: kuiva
KARAKALLIONTIE, ESPOO	to 24.11.1994	puolipilvinen, +5 °C tien pinta: kuiva
SAUVO PT 12076	ti 29.11.1994	aurinkoinen, +1 °C tien pinta: kuiva
PAIMIO MT 235	ke 30.11.1994	aurinkoinen, -5 °C tien pinta: kuiva
ANTTOLA PT 15145	pe 2.12.1994	aurinkoinen, -2 °C tien pinta: luminen
KIRSTINTIE, ESPOO	to 20.4.1995	aurinkoinen, +10 °C tien pinta: kuiva
ITÄMERENKATU, HELSINKI	pe 21.4. ja ke 3.5.1995	aurinkoinen, +10 °C tien pinta: kuiva
TAMMELA PT 13593	ma 24.4.1995	aurinkoinen, +18 °C tien pinta: kuiva
KYRÖSKOSKI MT 276	ti 25.4.1995	puolipilvinen, +7 °C tien pinta: kuiva
KEURUU PT 16511 ja PT 16512	ke 26.4.1995	aurinkoinen, +6 °C tien pinta: kuiva
LIEVESTUORE MT 6403	to 27.4.1995	aurinkoinen, +5 °C tien pinta: kuiva

### 3.2.2 Laaksolahdentie, Espoo

Laaksolahdentie on Espoon Laaksolahdessa sijaitseva asuntoalueen kokoojakuu. Mittaukset tehtiin Lähderannantien ja Veininkadun välisellä 1830 metriä pitkällä osuudella, jolla on kuusi töyssyä ja kymmenen kaksipuolista kavennusta. Nopeusrajoitus oli töyssyosuudella 30 km/h ja kavennusosuudella 40 km/h. Liittyvä liikenne on väistämismuuttainen ja kevyt liikenne on omalla erillisellä väylällä. Kadulla on reunatuet ainoastaan kavennusten kohdalla.

Töyssyt ovat ympyränkaaren muotoisia. Ne on päällystetty betonikivillä. Kahden keskimäisen töyssyn korkeus on 17 cm muiden 12 - 13 cm. Töyssyjen pituus on 5,5 - 6,5 m, paitsi Lähderannantieltä 670 metrin päässä sijaitseva töyssy, jonka pituus on 8,0 m. Töyssyjen etäisyys toisistaan on 63 - 107 metriä. Kavennusten kohdalla Laaksolahdentie kapenee päällysteen reunasta mitattuna 5,5 metristä 4,2 metriin. Kavennusten välinen etäisyys on 75 - 150 metriä.

Taulukossa 6 ovat tutkalla ja videolla tehtyjen nopeusmittausten tulokset. Nopeuksia mitattiin Lähderannantieltä 320 ja 405 metrin päässä sijaitsevilla töyssyillä ja niiden välillä sekä 1000 metrin etäisyydellä olevassa kavennuksessa.

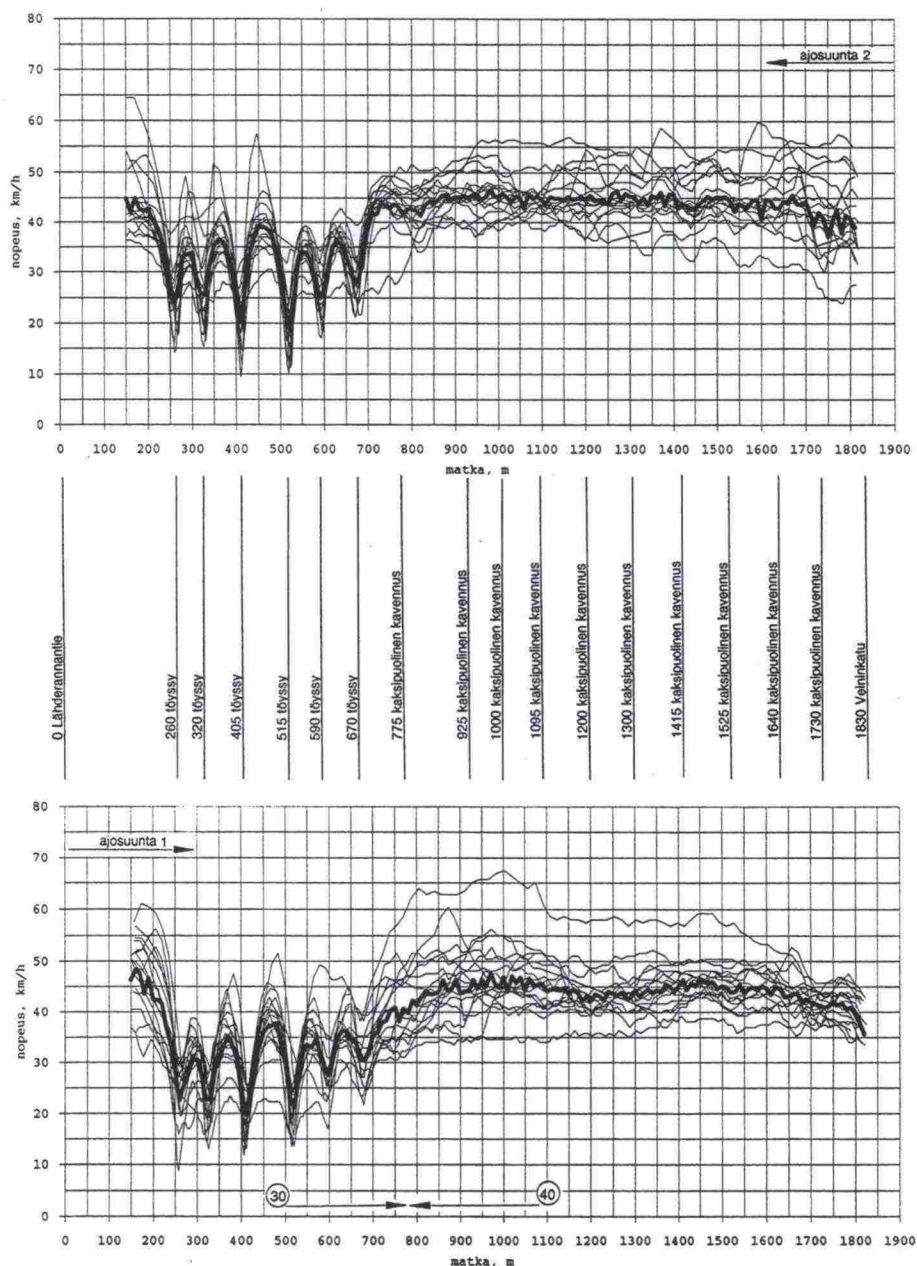
Taulukko 6: Laaksolahdentien tutka- ja videomittausten tulokset.

LAAKSOLAHDENTIE	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 Lähderannantie-Veininkatu					
töyssy 320	25,2	5,6	18,9	28,7	22
töyssyjen välillä	35,7	6,5	29,5	41,1	23
töyssy 405	23,2	4,3	17,3	27,0	20
kaksipuolinen kavennus 1000	49,3	8,5	41,8	57,1	71
TUTKA, ajosuunta 2 Veininkatu-Lähderannantie					
töyssy 320	25,3	5,1	17,5	27,7	20
töyssyjen välillä	36,0	5,8	27,6	41,0	24
töyssy 405	24,2	5,8	19,3	27,0	23
kaksipuolinen kavennus 1000	51,7	8,5	39,3	56,1	55
VIDEO, ajosuunta 1 Lähderannantie-Veininkatu					
töyssy 320	25,5	5,0	18,8	29,2	30
VIDEO, ajosuunta 2 Veininkatu-Lähderannantie					
töyssy 320	25,5	6,4	19,3	28,9	30

Keskinopeudet töyssyjen kohdalla olivat noin 25 km/h. Töyssyjen välillä keskinopeudet olivat noin 10 km/h korkeammat kuin töyssyillä. Nopeus, jonka kuljettajista 85 prosenttia alittaa ( $v_{85\%}$ -nopeus) oli töyssyillä alle 30 km/h. Töyssyjen välillä vastaava nopeus oli hieman yli 40 km/h. Korkein töyssyllä mitattu nopeus oli 41 km/h ja töyssyvälillä 47 km/h.

Kaksipuolisen kavennuksen kohdalla mitattiin ainoastaan vapaiden ajoneuvojen nopeudet, kohtaamistilanteissa mittauksia ei tehty. Kavennuksen kohdalla keskinopeus oli noin 50 km/h ja  $v_{85\%}$ -nopeus yli 55 km/h. Korkein tutkalla mitattu nopeus oli 76 km/h. Raskaiden ajoneuvojen keskinopeus kavennuksen kohdalla oli 44,5 km/h ja henkilöautojen 51,2 km/h.

Kuvaan 9 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Kuvaan on merkitty hidastimien sijainnit. Etäisyydet on mitattu Lähderannantieltä.



Kuva 9: Laaksoahdentiellä ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

Matka-nopeus -kuvista erottuvat töyssykohtien matalammat nopeudet selvästi. Töyssyjen korkeuden vaikutus nopeuksiin näkyy kuvassa. Nopeudet olivat alhaisimmat kahdella keskimmaisella töyssyllä, jotka ovat muita korkeampia. Kavennusten kohdilla nopeudet eivät laskeneet havaittavasti. Kuvaajia tarkasteltaessa on muistettava, että vajaat puolet analysaattorimittausajoista tehtiin vähäisen liikenteen vuoksi ilman seurantaa.



### 3.2.3 Pikkulinnunreitti, Espoo

Pikkulinnunreitti on Espoon Lintuvaarassa. Mittaukset tehtiin Kutsuntatien ja Lintuvaarantien välisellä 600 metriä pitkällä osuudella. Kadulla on Lintuvaarantien ja Kehä I:n välistä läpiajoliikennettä. Se sijaitsee pientaloalueella ja sillä ei ole jalkakäytäviä eikä reunatukia. Liittymistä saapuva liikenne on väistämismuuttainen. Kadulla on myös suoria tonttiliittymiä. Mittausosuudella on kahdeksan tasalakista töyssyä. Pikkulinnunreitillä on 30 km/h:n nopeusrajoitus.

Kuuden töyssyn korkeus on 10 - 12 cm. Näitä matalampia ovat 100 ja 200 metrin etäisyydellä Lintuvaarantieltä sijaitsevat töyssyt, joiden korkeudet ovat 4 ja 8 cm. Töyssyjen viistekaltevuus on 1:10. Poikkeuksen muodostavat matalammat töyssyt, joissa viistekaltevuus on 1:15. Töyssyjen pituus on 5,7 - 6,5 m. Korotusten välinen etäisyys on 50 - 100 metriä. Töyssyt ovat asfalttipäällysteisiä.

Taulukossa 7 ovat tutkimittausten tulokset. Mittaukset tehtiin 10 cm korkeilla töyssyillä. Lintuvaarantieltä 270 metrin päässä sijaitsevan töyssyn pituus on 6,0 metriä ja 320 metrin etäisyydellä olevan töyssyn 6,3 metriä.

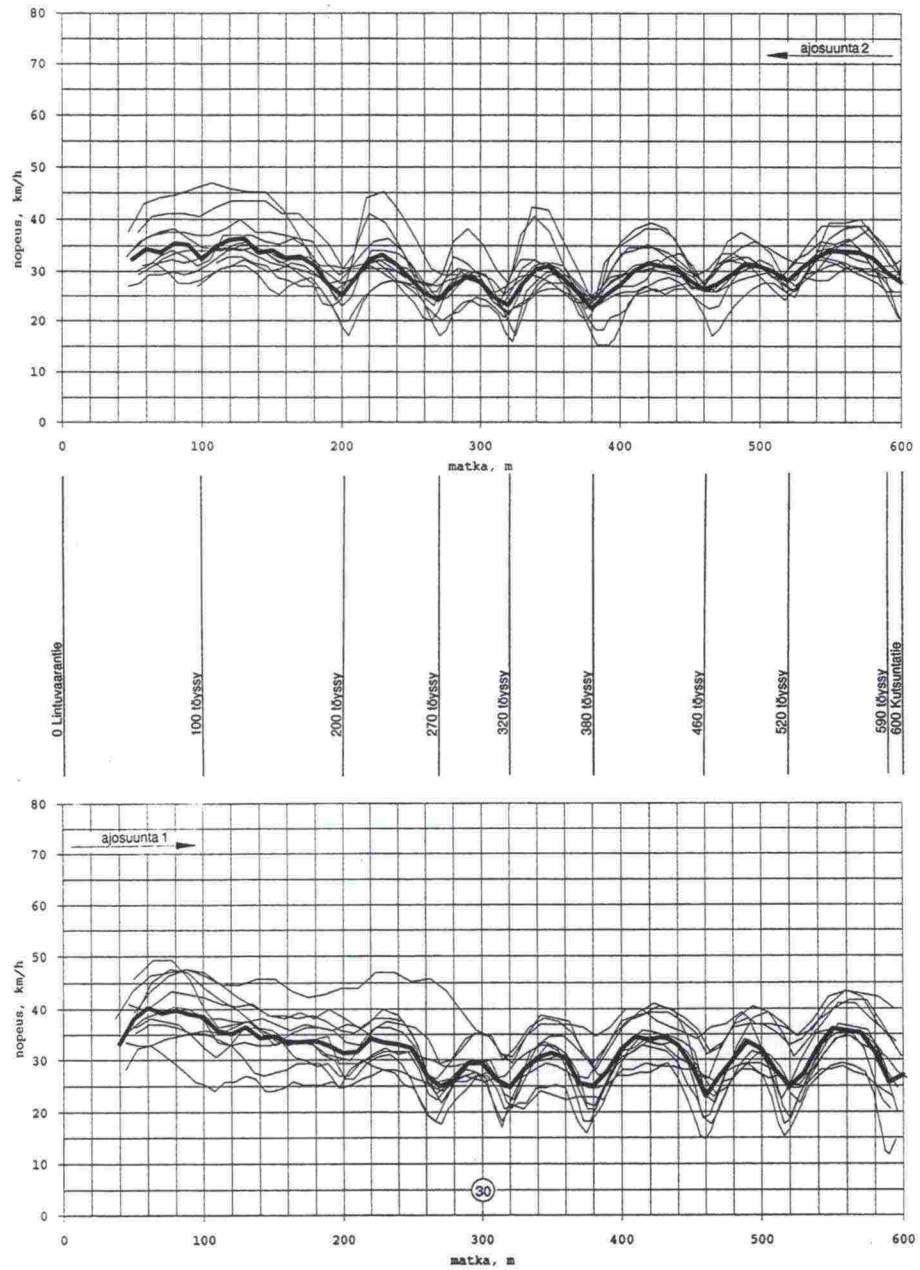
Taulukko 7: Pikkulinnunreitin tutkimittausten tulokset.

PIKKULINNUNREITTI	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 Lintuvaarantie-Kutsuntatie					
töyssy 270	30,5	8,5	20,5	37,6	23
töyssyjen välillä	34,5	6,6	26,5	39,3	23
töyssy 320	24,4	8,9	11,5	32,6	23
TUTKA, ajosuunta 2 Kutsuntatie-Lintuvaarantie					
töyssy 270	29,6	7,1	21,1	35,4	31
töyssyjen välillä	34,7	5,6	26,7	38,9	31
töyssy 320	27,5	7,0	18,2	33,5	32

Mittaustuloksista lasketut nopeuksien keskiarvot eivät ylittäneet nopeusrajoitusta töyssyjen kohdalla. Keskinopeudet olivat hieman alle 30 km/h. Töyssyjen välillä keskinopeudet olivat noin 5 km/h korkeampia kuin töyssyillä.  $V_{85\%}$ -nopeus vaihteli välillä 32,6 - 37,6 km/h. Vastaava nopeus töyssyjen välillä oli noin 39 km/h. Se ylittää nopeusrajoituksen selvästi.

Korkeimmat nopeudet töyssyillä ja töyssyvälillä eivät juuri poikenneet toisistaan. Korkein töyssyillä mitattu nopeus oli 47 km/h ja töyssyjen välillä 48 km/h. Tutkimittausten aikana tutkimuspaikan ohitti kaksi kuorma-autoa. Niiden nopeudet töyssyillä olivat 17 ja 25 km/h ja töyssyvälillä 24 ja 30 km/h.

Kuvaan 10 on piirretty ajoanalyysointimittausten perusteella saadut matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Matka-nopeus -kuvaajista näkyvät töyssykohtien alhaisemmat nopeudet. Matalimman töyssyn kohdalla nopeudet laskivat hyvin vähän. Tämän töyssyn etäisyys Lintuvaarantieltä on 100 metriä. Eri ajosuunnilla mitatut nopeudet eroavat töyssyillä, joka on 200 metrin päässä Lintuvaarantieltä. Tähän on syynä se, että töyssy sijaitsee loivassa mäessä. Lintuvaarantieltä ajosuunnasta 1 ajettaessa se on matalampi kuin vastakkaisesta ajosuunnasta.



Kuva 10: Pikkulinnunreitillä ajoanalysointia mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

Ajosuunnassa 1 mitatuista nopeuskäyristä erottuu se, että töyssyväleillä korkeaa nopeudetta käyttäneet kuljettajat ylittävät myös töyssyt muita kuljettajia suuremmalla nopeudella. Sama ilmiö tulee esiin myös tutkimistausten tuloksia tarkastelemalla. Töyssyillä ja niiden välillä mitattujen nopeuksien keskiarvojen ero on suurempi kuin vastaavilla kohdilla laskettujen  $v_{85\%}$ -nopeuksien ero.



### 3.2.4 Karakalliontie, Espoo

Karakalliontie sijaitsee Espoon Karakalliossa. Katu on kokoojakatu, jonka varrella on ostoskeskus. Karakalliontiellä on neljä töyssyä, joista kolme oli mittausosuudella. Näiden lisäksi kadulla on kolme liikenteen lähes poiskuluttamaa töyssyä. Ne sijaitsevat 750, 830 ja 900 metrin etäisyyksillä Rastaalantiestä. Karakalliontiellä on 40 km/h:n nopeusrajoitus.

Karakalliontiellä on osalla matkaa jalkakäytävät sekä osuuksia, joilla kevyt liikenne on kokonaan eroteltu moottoriajoneuvoliikenteestä. Reunatukia ei ole niillä osuuksilla, joilla kevyellä liikenteellä on oma erillinen väylänsä. Karakalliontiellä on säännöllistä linja-autoliikennettä.

Mittausosuudella olevien töyssyjen väliset etäisyydet ovat 100 ja 200 metriä. Töyssyt on tehty asfaltista. Ympyränkaaren muotoisten töyssyjen korkeudet ovat 11 ja 13 cm ja pituudet 8,0 - 9,5 m.

Tutkamittausten tulokset ovat *taulukossa 8*. Ajoneuvojen nopeuksia mitattiin 390 metrin päässä Rastaalantieltä olevan töyssyn kohdalla sekä 50 ja 60 metrin etäisyyksillä sen eri puolilla. Mittauksen kohteena oleva töyssy sijaitsee mäessä, jonka pituuskaltevuus on 1 %. Tämän töyssyn pituus on 9,5 m ja korkeus 13 cm.

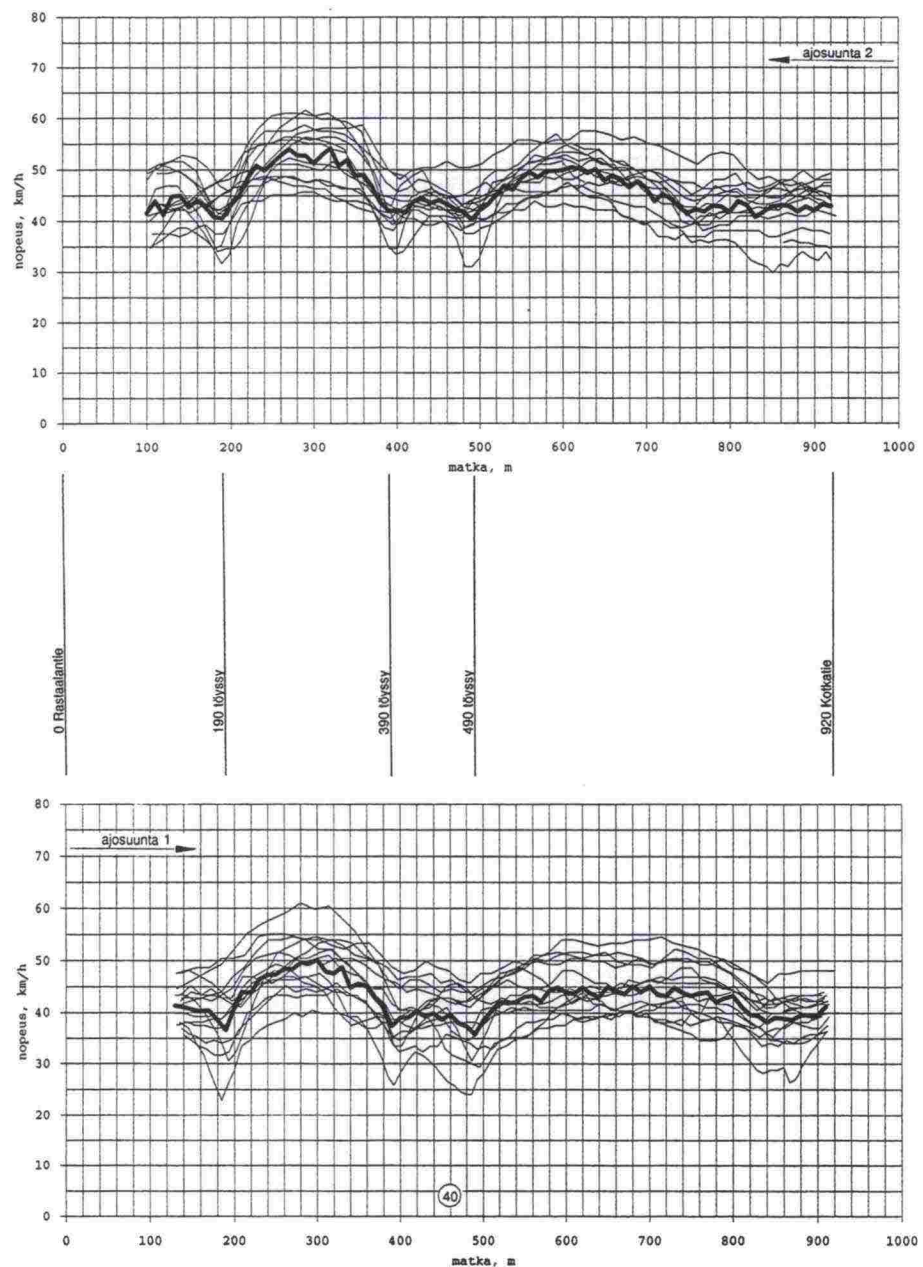
*Taulukko 8: Karakalliontien tutkamittausten tulokset.*

KARAKALLIONTIE	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	– v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 Rastaalantie-Kotkatie (ylämäki 1%)					
töyssyväli kohta 340	46,3	5,8	38,6	50,9	51
töyssy 390	40,2	8,2	31,1	47,1	123
töyssyväli kohta 450	41,8	6,3	33,6	47,2	110
TUTKA, ajosuunta 2 Kotkatie-Rastaalantie (alamäki 1%)					
töyssyväli kohta 340	50,3	6,5	42,0	54,8	79
töyssy 390	44,2	7,5	34,0	50,6	100
töyssyväli kohta 450	45,3	6,9	36,5	50,6	99

Mittauksen kohteena ollut töyssy on pitkä ja loiva. Tämän vuoksi keskinopeudet olivat sen kohdallakin nopeusrajoitusta korkeampia. Mäen vaikutus tulee ilmi tutkamittausten tuloksissa. Nopeudet olivat noin 4 km/h korkeampia alamäen suuntaan kuin ylämäen suuntaan. Nopeuksien hajonta oli suurin töyssyn kohdalla. Tutkalla mitatuista nopeuksista laskettu  $v_{85\%}$ -nopeus oli ylämäen suuntaan 47,1 km/h ja alamäen suuntaan 50,6 km/h.

Raskaiden ajoneuvojen keskinopeudet töyssyn kohdalla olivat ylämäen suuntaan 29,9 km/h ja alamäen suuntaan 34,3 km/h. Henkilöautoilla vastaavat nopeudet olivat näitä arvoja selvästi korkeammat. Ylämäen suuntaan henkilöautojen keskinopeus töyssyllä oli 42,2 km/h ja alamäen suuntaan 44,6 km/h. Korkein töyssyn kohdalla mitattu nopeus oli alamäen suuntaan ajaneella henkilöautolla, jonka nopeus oli 65 km/h. Ylämäen suunnalla korkein nopeus oli 59 km/h.

Kuvaan 11 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Kuvaan on merkitty mittaussosuudella olevien töyssyjen sijainnit. Matka-nopeus -kuvaajista näkee, että 100 metriä pitkällä töyssyvälillä nopeudet eivät nouse kuin hiukan. Kaksi kertaa pitemmällä töyssyvälillä keskinopeudet nousevat sen sijaan noin 10 km/h töyssyillä mitattuja nopeuksia korkeammiksi. Mataliksi kuluneiden töyssyjen kohdalla nopeudet eivät laske havaittavasti.



Kuva 11: Karakalliontiellä ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.



### 3.2.5 Pt 12076, Sauvo

Sauvossa mittaukset tehtiin paikallistiellä 12076 ja Sauvon kirkonkylän kaavatiellä. Paikallistiellä on kaksi kaksipuolista ja kaksi yksipuolista kavennusta. Toinen kaksipuolinen kavennus on tien yli rakennetun portin kohdalla 60 metrin etäisyydellä maantiestä 181. Yksipuoliset kavennukset sijaitsevat 50 metrin etäisyydellä toisistaan ja ne ovat tien vastakkaisilla reunoilla. Tien leveys on 6,0 metriä ja kavennusten kohdalla se kapenee noin 3,5 metriin. Kavennusten lisäksi paikallistiellä on yksi tasalakinen töyssy paikallisteiden 12076 ja 12075 liittymässä olevan suojatien kohdalla. Tiellä on kaarteita ja loivia mäkiä. Kavennusosuudella ei ole jalkakäytävää eikä reunatukia. Tiellä on linja-autoliikennettä. Sivuteiltä mittaosuudelle saapuva liikenne on väistämisvelvollinen.

Sauvon kirkonkylän kaavatiellä on kaksi korotettua suojatietä 50 metrin etäisyydellä toisistaan. Näiden tasalakisten töyssyjen korkeus on 11 cm, viisteen kaltevuus 1:12 ja pituus 6,5 m. Kaavatiellä on poikittaispysäköintiä ja jalkakäytävä.

Paikallisteiden 12076 ja 12075 liittymässä on maantien 181 suunnasta paikallistietä 12076 ajavilla pakollinen pysähtyminen. Vastakkaisesta suunnasta liittymään ajavilla on väistämisvelvollisuus. Mittausosuudella nopeusrajoitus on 30 km/h.

Sauvossa mitattiin nopeuksia sekä tutkalla että videolla. Kavennusosuudella nopeuksia mitattiin tutkalla 360 metrin etäisyydellä maantiestä 181 sekä molempien yksipuolisten kavennusten kohdalla. Sauvon keskustassa nopeuksia mitattiin kahdella töyssyllä ja niiden välillä. Nopeushavaintoja oli hiljaisen liikenteen vuoksi vähän. Taulukossa 9 ovat nopeusmittausten tulokset.

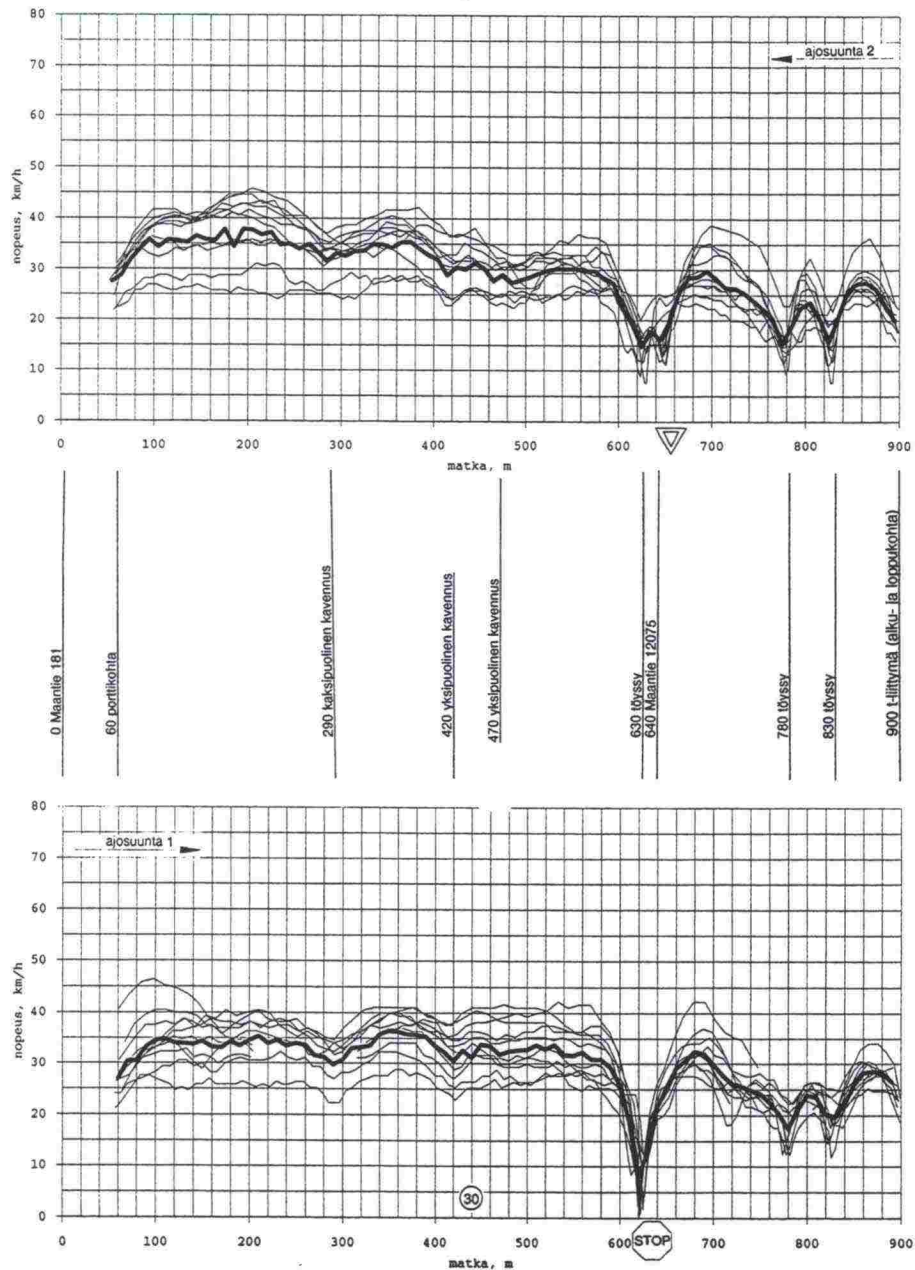
Taulukko 9: Sauvon tutka- ja videomittausten tulokset.

SAUVO	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 mt 181-kirkonkylä					
loiva kaarre kohta 360	41,9	9,3	29,0	50,1	13
yksipuolinen kavennus 420 ajokaistalla	33,4	8,0	19,8	39,2	12
yksipuolinen kavennus 470 vastakkaissuunnan kaistalla	37,3	8,0	20,0	39,1	22
töyssy 780	23,7	6,5	15,8	26,2	6
töyssyjen välillä	25,6	3,2	20,1	27,9	7
töyssy 830	20,7	4,0	15,8	30,2	6
TUTKA, ajosuunta 2 kirkonkylä-mt 181					
loiva kaarre kohta 360	43,9	6,2	33,5	49,5	15
yksipuolinen kavennus 420 vastakkaissuunnan kaistalla	39,2	8,3	29,3	43,9	15
yksipuolinen kavennus 470 ajokaistalla	35,2	7,4	28,2	41,7	10
töyssy 780	23,9	8,1	16,3	23,3	14
töyssyjen välillä	27,7	8,1	17,8	29,7	14
töyssy 830	22,1	6,5	13,6	27,7	13
VIDEO, ajosuunta 1 mt 181-kirkonkylä					
töyssy 830	21,2	5,6	14,9	25,3	13
VIDEO, ajosuunta 2 kirkonkylä-mt 181					
töyssy 830	21,4	4,9	12,9	28,6	11



Nopeudet laskevat yksipuolisissa kavennuksissa jonkin verran. Osittain tähän vaikuttaa väylägeometria. Keskinopeudet olivat hieman alempia silloin, kun kavennus on ajosuunnan kaistalla kuin silloin, kun kavennus on vastakkaisen ajosuunnan kaistalla.  $V_{85\%}$ -nopeuksissa tätä eroa ei ollut. Maksiminopeudeksi mitattiin 41 km/h, kun kavennus oli ajosuunnan kaistalla, ja 58 km/h, kun kavennus oli vastakkaisajosuunnan kaistalla. Töyssyillä keskinopeudet olivat runsaat 20 km/h ja töyssyvälillä noin 25 km/h. Korkein töyssyillä mitattu nopeus oli 41 km/h.

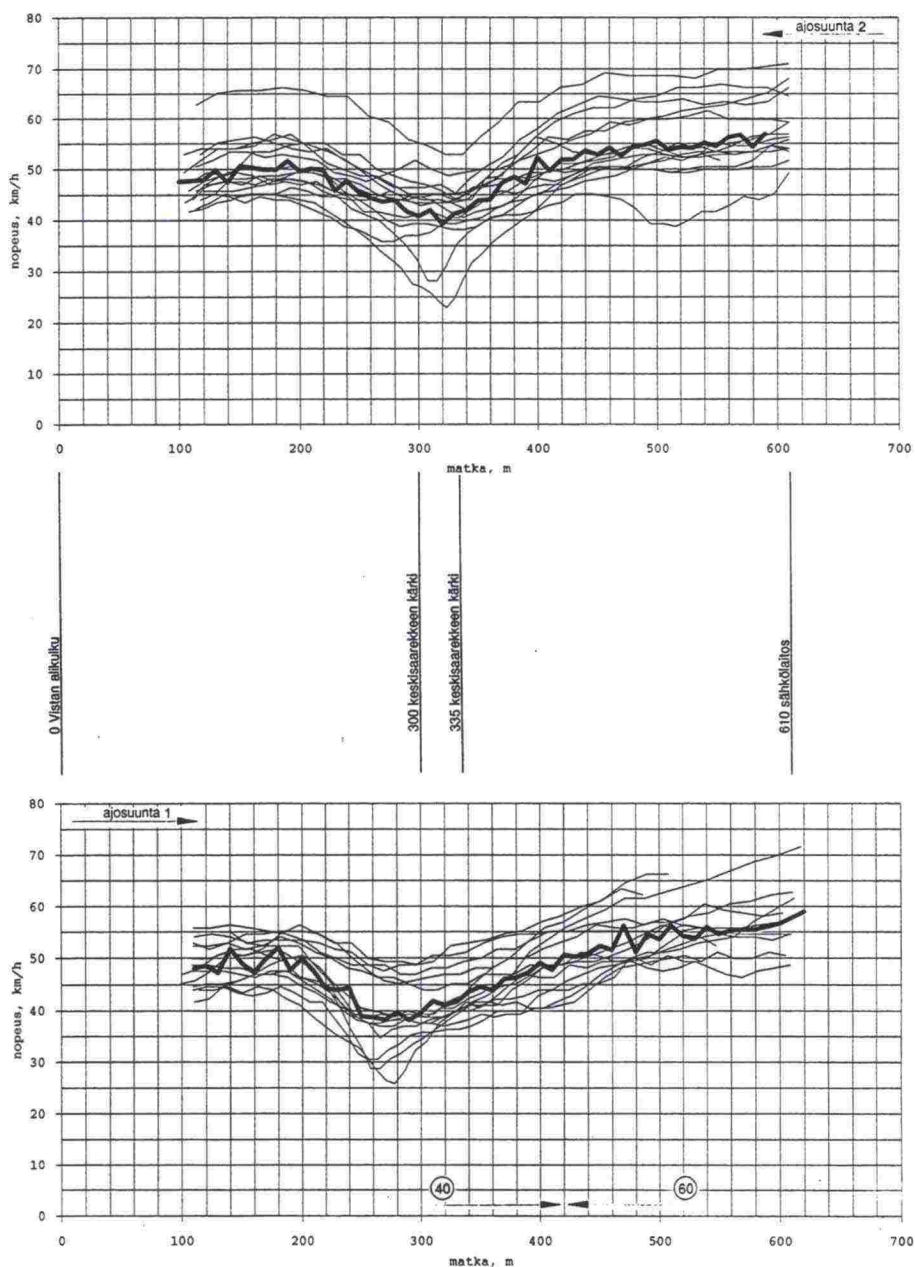
Kuvaan 12 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Kuvaan on merkitty hidastimien sijainnit. Matka-nopeus -kuvaajista erottuvat selkeästi töyssykohdat sekä maantien 12075 liittymä, jossa on ajosuunnan mukaan joko pakollinen pysähtyminen tai väistämisvelvollisuus. Kavennusten kohdalla nopeudet laskevat hieman. Pääosa analysaattorimittausajoista tehtiin vähäisen liikenteen vuoksi ilman ajoneuvoseurantaa.



Kuva 12: Sauvossa ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.



Kuvaan 14 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Paimion keskusta päin saapuva suunta on kuvassa ajosuunta 2. Ajoneuvojen nopeudet laskevat saarekkeen kohdalla, mutta nousevat uudelleen keskisaarekkeen jälkeen 40 km/h:n nopeusrajoituksesta huolimatta. Paimiosta pohjoiseen poistuvalla ajosuunnalla 1 on ennen saarekettä pieni ylämäki, joka laskee hieman nopeuksia.

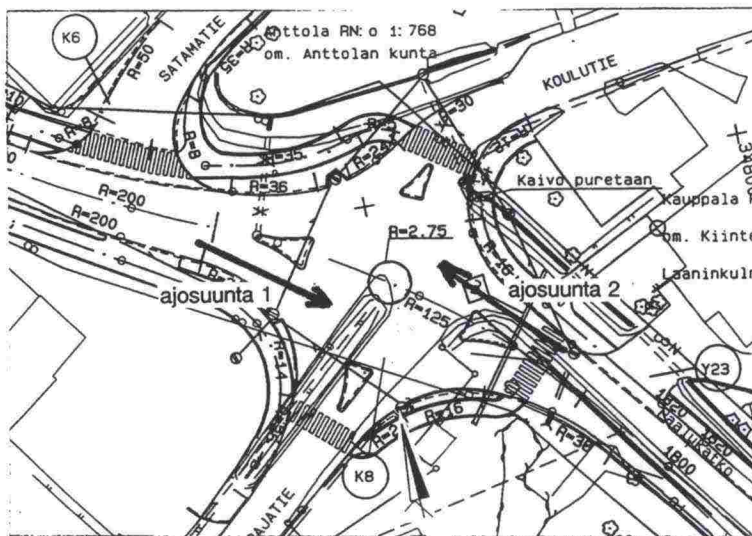


Kuva 14: Paimiossa ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.



### 3.2.7 Pt 15145, Anttola

Anttolassa mittauskohteena oli paikallistiellä 15145 oleva kiertoliittymä. Anttolan keskustassa sijaitsevassa kiertoliittymässä on pieni kiertosaareke, jonka säde on 2,75 metriä. Mittaukset tehtiin kirkon ja Tuomaantien välisellä osuudella. Tie laskeutuu idästä Tuomaantieltä päin taajaman keskustaan ennen kiertoliittymää. Sen pituuskaltevuus on suurimmillaan noin 9 prosenttia. Paikallistiellä 15145 nopeatrajoitus on 40 km/h. Kaavateiden suunnasta liittymään ajavilla nopeatrajoitus on 50 km/h. Kartta Anttolan kiertoliittymästä on kuvassa 15.



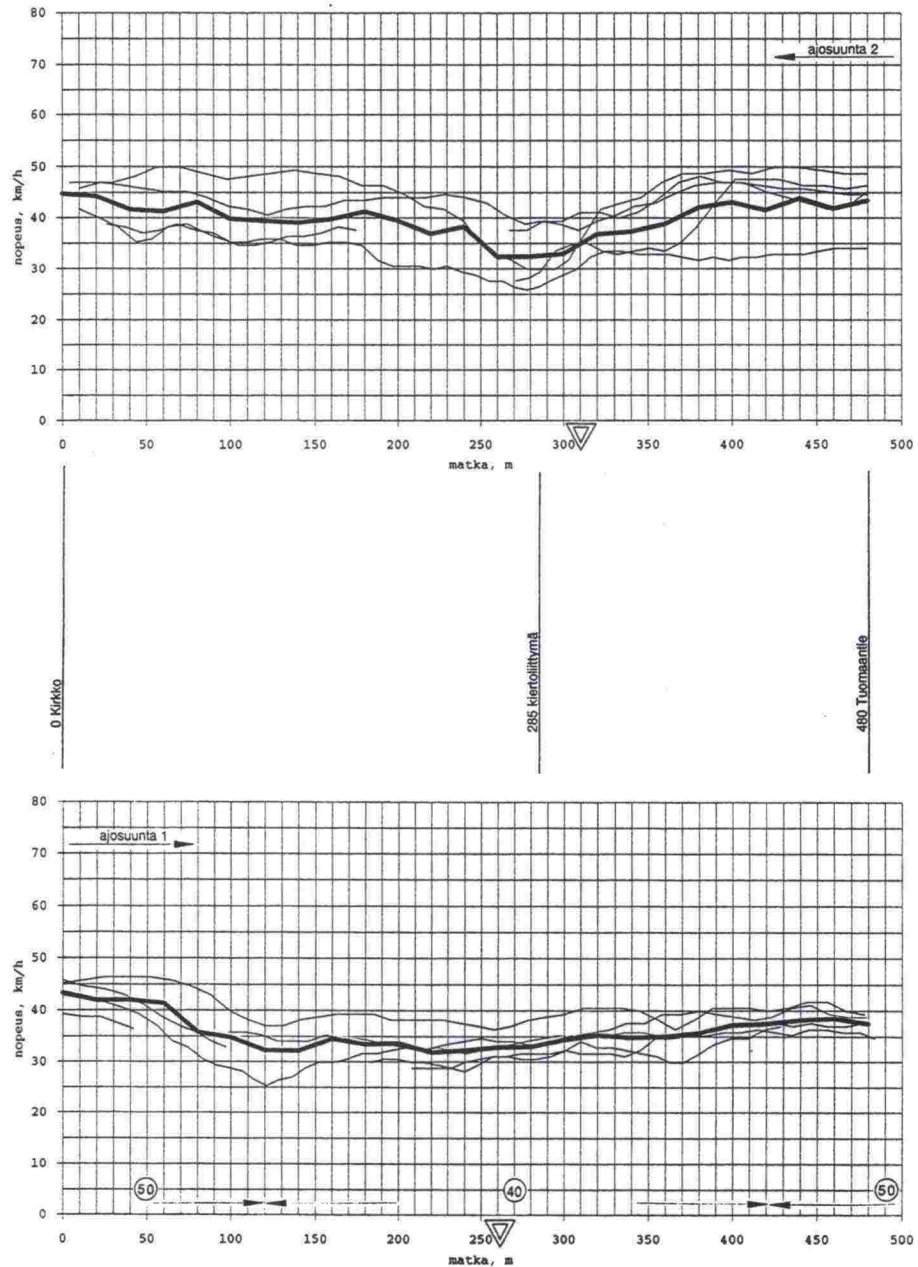
Kuva 15: Anttolan kiertoliittymä.

Taulukossa 11 ovat tutkimittausten tulokset. Vähäisen liikenteen vuoksi havaintojen määrä oli hyvin alhainen. Taajaman keskustasta ulospäin olevalla suunnalla (ajosuunta 1) nopeudet eivät laske kiertoliittymän kohdalla, koska liittymää ei ole porrastettu lainkaan. Taajamaan saapuvalla suunnalla (ajosuunta 2) ajolinja kaartaa hieman vasempaan. Tämän takia nopeudet laskevat kiertoliittymän kohdalla. Korkein kiertotilassa mitattu nopeus oli taajamasta poistuvalla suunnalla 52 km/h ja taajamaan saapuvalla suunnalla 42 km/h.

Taulukko 11: Anttolan tutkimittausten tulokset.

ANTTOLA	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 kirkko-Tuomaantie					
kohta 230	41,1	6,6	31,4	48,7	9
kiertoliittymä 285	42,5	8,1	33,0	50,5	10
kohta 330 (ylämäki 9%)	48,3	8,2	38,4	53,8	8
TUTKA, ajosuunta 2 Tuomaantie-kirkko					
kohta 230	39,3	8,6	28,8	48,4	12
kiertoliittymä 285	34,6	6,6	23,6	38,4	12
kohta 330 (alamäki 9%)	41,9	7,9	34,7	49,3	9

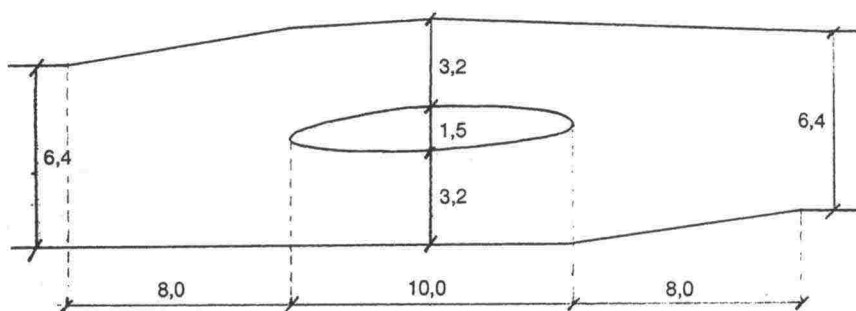
Kuvaan 16 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Tuloksista tulee esiin sama ilmiö kuin tutkimuksissa. Kiertoliittymässä tulosuuntia ei ole porrastettu lainkaan ja kiertosaareke on pieni. Näiden tekijöiden takia nopeudet eivät laske liittymän kohdalla taajamasta poistuvalla suunnalla (ajosuunta 1). Vastakkaisella ajosuunnalla ajolinjan kaarre laskee nopeuksia.



Kuva 16: Anttolassa ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

### 3.2.8 Kirstintie, Espoo

Kirstintie sijaitsee Espoon Suvelassa Sunantien ja Suvelantien välissä. Kadulla on hidastimina kaksipuolinen kavennus, sivusiirtymiä ja korotuksia. Nopeusrajoitus on 30 km/h. Kadulla on reunatuet. Kavennuksen kohdalla Kirstintie kapenee 6,4 metristä 4,2 metriin. Sivusiirtymien kohdalla on keskisaarekkeet. Sivusiirtymässä, jonka etäisyys Sunantieltä on 360 metriä, ajoradan sivusiirtymä on 1,5 metriä. Toinen sivusiirtymä on vain ajosuunnassa Sunantie - Suvelantie (ajosuunta 1). Tämän ajolinjan sivusiirtymän suuruus on 1,5 metriä. Ajoradan sivusiirtymän mittapiirros on kuvassa 17.



Kuva 17: Kirstintien ajoradan sivusiirtymän mitat (ajoradan leveys mitattu reunatuista).

Sunantieltä 280 metrin etäisyydelle on rakennettu puolikas tasalakinen töytsy, jossa ajorata kohoaa Sunantien puolelta 2 metrin matkalla 4 cm. 580 metrin etäisyydellä Sunantiesta on 6 metriä pitkä tasalakinen töytsy (korotettu suojatie), jonka korkeus Sunantieltä päin ajettaessa on 2 cm ja Suvelantien suunnasta 6 cm. Viisteiden kaltevuudet ovat 1:50 ja 1:33. Lisäksi kadulla on lähellä Suvelantietä 8 cm:ä korotettu alue, jonka korotetun osan pituus on 14 metriä ja viisteiden kaltevuus 1:25.

Nopeuksia mitattiin tutkalla kaksipuolisessa kavennuksessa ja ajoradan sivusiirtymässä. Kaksipuolisen kavennuksen kohdalla ei mitattu nopeuksia kohtaamistilanteissa. Taulukossa 12 ovat tutkimittausten tulokset.

Taulukko 12: Kirstintien tutkimittausten tulokset.

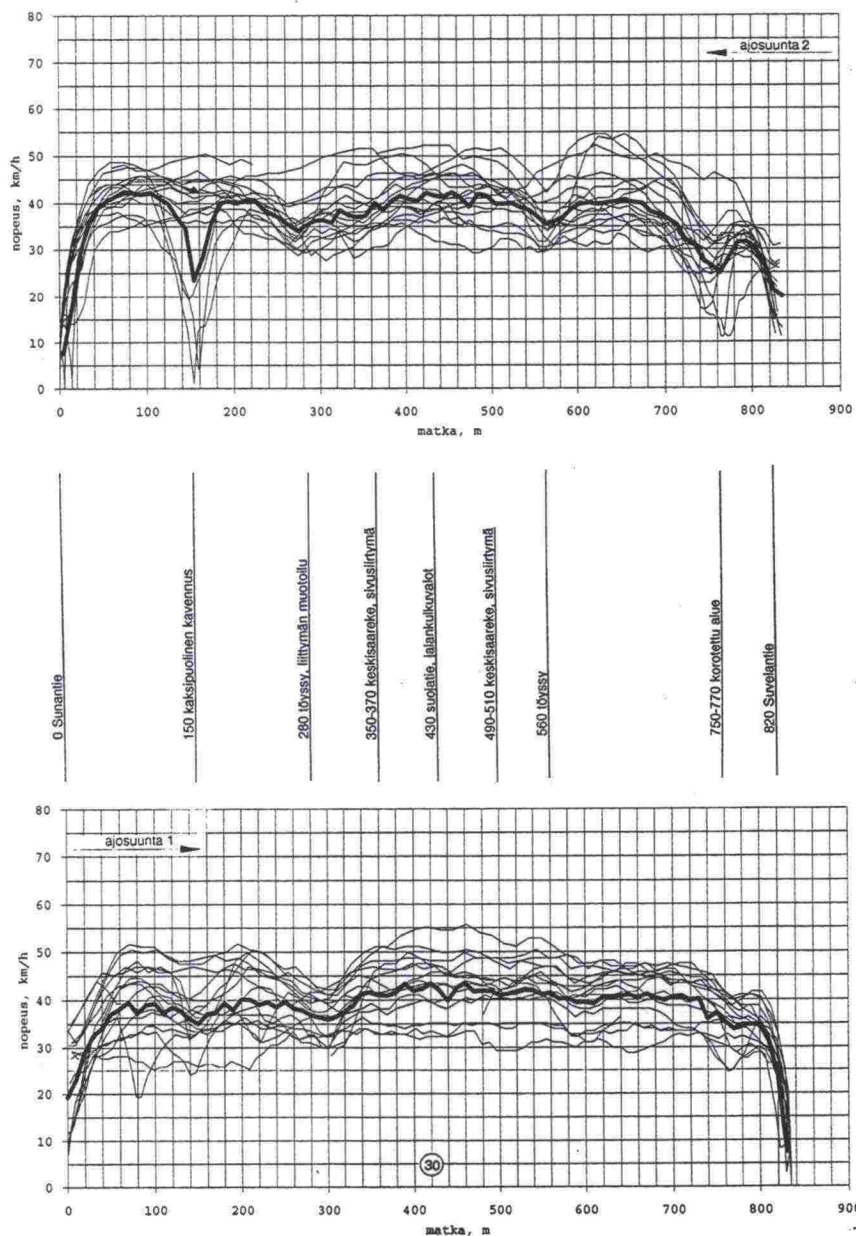
KIRSTINTIE	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 Sunantie-Suvelantie					
kaksipuolinen kavennus 150	43,1	5,0	37,9	47,7	91
sivusiirtymä, keskisaareke kohta 360	45,2	7,1	39,1	51,3	90
TUTKA, ajosuunta 2 Suvelantie-Sunantie					
kaksipuolinen kavennus 150	41,9	6,5	36,3	48,4	88
sivusiirtymä, keskisaareke kohta 360	45,1	5,8	38,8	50,7	77

Kavennuksen kohdalla keskinopeudet ylittivät 30 km/h:n nopeusrajoituksen yli 10 km/h:lla. Raskaiden ajoneuvojen nopeuksien keskiarvo oli 41,3 km/h ja henkilöautojen 42,9 km/h. Korkein mitattu nopeus oli 62 km/h. Sivusiirtymän kohdalla nopeudet olivat



jonkin verran korkeampia kuin kaksipuolisessa kavennuksessa. Maksiminopeus oli 75 km/h. Raskaiden ajoneuvojen keskinopeus oli 40,2 km/h ja henkilöautojen 46,0 km/h.

Kuvaan 18 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Kaksipuolinen kavennus laskee ajonopeuksia silloin kun kuljettajien on väistettävä vastaantulevaa liikennettä. Kun ajosuunnan 2 ajoanalysaattoriaineistosta poistettiin kohtaamistilanteet, nopeuksien keskiarvo kaksipuolisen kavennuksen kohdalla oli 43 km/h. Ylempään matka-nopeus -käyrästään tämä arvo on piirretty pisteinä kaksipuolisen kavennuksen kohdalle. Nopeuskäyristä näkyy lisäksi se, että ajoradan korotusten kohdalla nopeudet laskevat hieman. Sivusiirtymien kohdalla nopeustaso sen sijaan pysyy tasaisena.



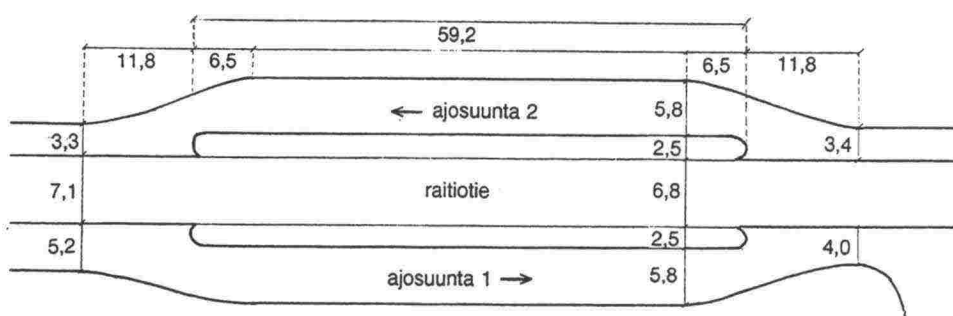
Kuva 18: Kirstintiellä ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

### 3.2.9 Itämerenkatu, Helsinki

Itämerenkatu sijaitsee Helsingin Ruoholahdessa. Katu on suora ja sillä on keskikaistalla raitiotie molempiin suuntiin. Kadulla on raitiovaunupysäkin kohdalla kaksinkertainen ajolinjan sivusiirtymä molemmilla ajosuunnilla. Ajolinjan sivusiirtymän suuruus on 2,5 metriä. Ajokaistan leveys kadulla on 3,3 - 3,4 metriä. Kadunvarsipysäköinnin ja liittymien takia ajokaistat ovat paikoitellen tätä leveämpiä. Nopeusrajoitus Itämerenkadulla on 40 km/h.

Sivusiirtymän kohdalla on lyhytaikainen pysäköinti sallittu. Tämän vuoksi kaistan leveys siirtymässä on 5,8 metriä. Leveä kaista sivusiirtymän kohdalla helpottaa myös isojen ajoneuvojen liikkumista. Mittausten aikana sivusiirtymän kohdalla ei ollut pysäköityjä ajoneuvoja. Ajosuunnassa 1 ennen sivusiirtymää kadunvarsipysäköinti on sallittu.

Itämerenkadulla on raitiovaunulinjan lisäksi säännöllistä linja-autoliikennettä. Linja-autot ajavat Itämerenkadulla raitiovaunukaistalla ja pysäkit ovat linja-autoilla ja raitiovaunulla yhteiset. Kuvassa 19 on tutkimuksen kohteena olleen sivusiirtymän mittapiirros.



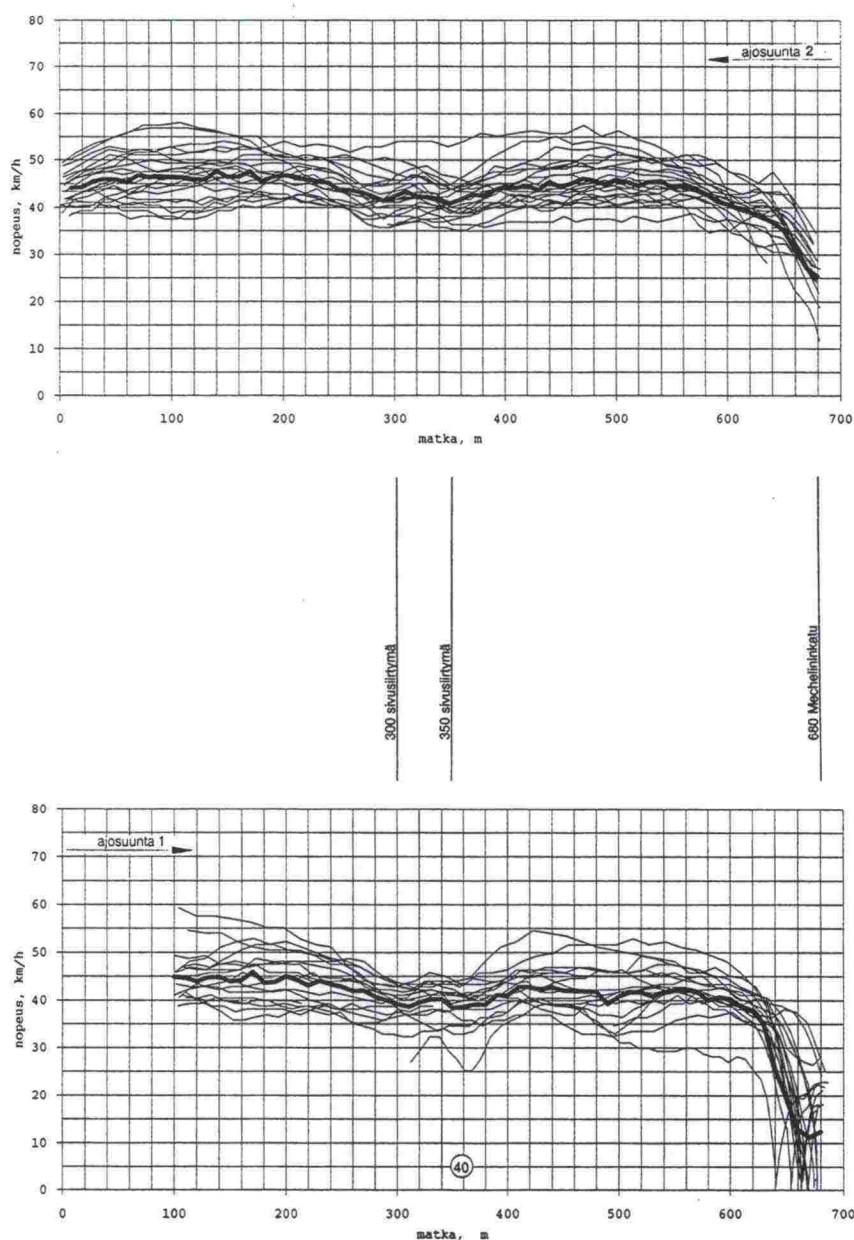
Kuva 19: Itämerenkadun ajolinjan sivusiirtymän mitat.

Taulukossa 13 ovat tutkimittausten tulokset. Nopeuksia mitattiin sivusiirtymän kohdalla ja suoralla osuudella. Nopeudet olivat sivusiirtymän kohdalla alempia kuin suoralla kadulla. Keskinopeus sivusiirtymän kohdalla oli jonkin verran korkeampi kuin nopeusrajoitus. Sivusiirtymässä raskaat ajoneuvot joutuvat ajamaan pienemmällä nopeudella kuin henkilöautot. Niiden nopeuksien keskiarvo oli 37,0 km/h, mikä on 7,3 km/h alempi kuin henkilöautojen keskinopeus. Suoralla osuudella raskaiden ajoneuvojen ja henkilöautojen keskinopeuksien ero oli vain 2,1 km/h. Sivusiirtymässä korkein mitattu nopeus oli 61 km/h ja suoralla 68 km/h.

Taulukko 13: Itämerenkadun tutkimittausten tulokset.

ITÄMERENKATU	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 Kaapelitehdas-Mechelininkatu suoralla kohta 100	48,7	6,1	43,0	55,2	144
TUTKA, ajosuunta 2 Mechelininkatu-Kaapelitehdas sivusiirtymä kohta 330	43,6	5,7	38,0	49,8	418
suoralla kohta 100	47,6	5,6	41,8	52,6	91

Kuvaan 20 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät molempiin ajosuuntiin. Ajolinjan sivusiirtymän kohdalla nopeudet laskivat hieman. Kuvasta havaitaan myös se, että keskinopeudet nousevat lievästi sivusiirtymien välisellä osuudella. Sivusiirtymien välinen etäisyys on noin 50 metriä. Kuten ylemmästä ajosuunnan 2 käyrästä voidaan havaita sivusiirtymien läpi voi ajaa yli 50 km/h:n nopeudella. Tälläkin vauhdilla ajavien nopeudet kuitenkin laskevat hieman siirtymän kohdalla. Ajosuunnassa 1 kohdan 600 metriä jälkeen tapahtuneet pysähdykset johtuvat Itämerenkadun ja Mechelininkadun liittymässä olevista liikennevaloista.



Kuva 20: Itämerenkadulla ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

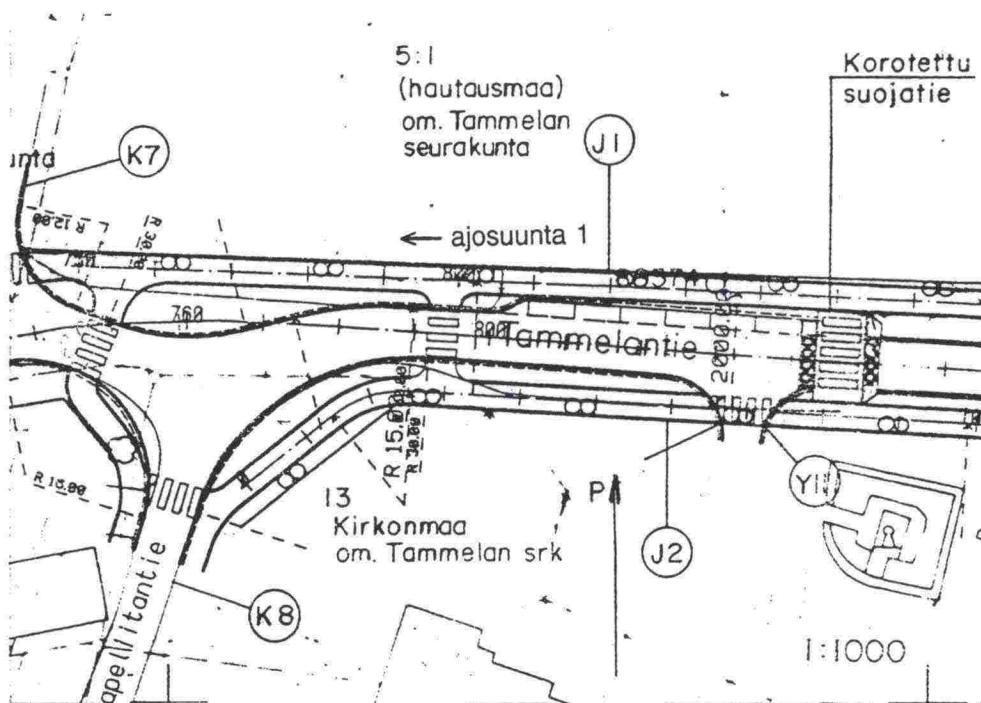


### 3.2.10 Pt 13593, Tammela

Paikallistie 13593 sijaitsi Tammelan kirkonkylässä. Nykyisin Tammelantie on kaavatie. Tiellä on 8,0 metriä pitkä korotettu suojatie. Sen korkeus Hevonniemestä Rauhaniemen suuntaan (ajosuunta 1) on 10 cm ja viisteen kaltevuus 1:23. Vastakkaisessa suunnassa vastaavat mitat ovat 4 cm ja 1:44. Tammelantien isoimmat t-liittymät on muotoiltu siten, että tietä suoraan ajavat joutuvat tekemään loivan mutkan liittymän kohdalla. Mutkan kaarresäde on 30 metriä.

Tiellä on linja-autoliikennettä. Korotetun suojatien itäpuolella kadunvarsipysäköinti on sallittu pysäköintiä varten rakennetussa syvennyksessä. Tammelantiellä on reunatuet ja kevyellä liikenteellä on omat erilliset väylänsä. Nopeusrajoitus on 30 km/h.

Kuvassa 21 on kartta mittauskohteesta. Kartassa näkyvät korotettu suojatie ja liittymä, jossa tehtiin nopeusmittauksia (ajoanalyysointimittausten kohta 395 metriä).



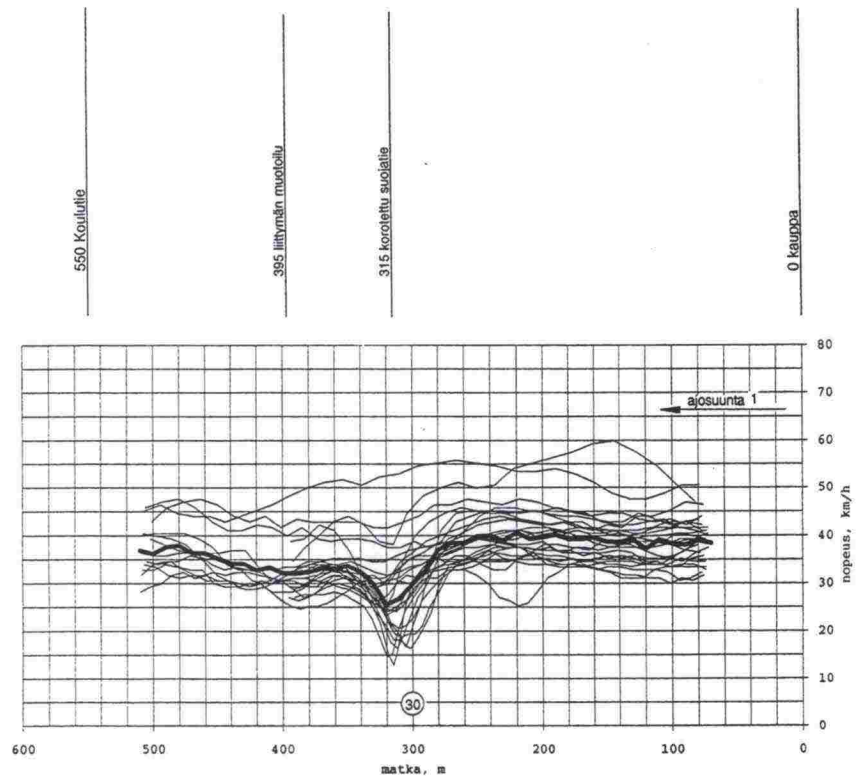
Kuva 21: Kartta Tammelan kohteesta, jossa näkyy liittymägeometria ja korotettu suojatie.

Tutkalla mitattiin ajoneuvojen nopeuksia korotetun suojatien ja muotoillun liittymän kohdalla sekä suoralla osuudella. Liittymässä ei mitattu kääntyvien ajoneuvojen nopeuksia. Keskinopeudet olivat hidastimien kohdilla vain hieman nopeusrajoitusta korkeammat. Korotuksessa nopeuksien keskiarvo oli molemmat suunnat yhteenlaskettuna 31,5 km/h ja liittymässä 30,8 km/h. Nopeuksien hajonta oli suurempi korotuksessa kuin suoralla osuudella. Sekä korotetun suojatien että muotoillun liittymän kohdalla korkein mitattu nopeus oli 51 km/h. Suoralla osuudella korotuksen itäpuolella kohdassa 230 metriä korkein mitattu nopeus oli 55 km/h. Vastaava nopeus liittymän länsipuolella suoralla osuudella kohdassa 450 metriä oli 44 km/h. Tutkamittausten tulokset ovat taulukossa 14.

Taulukko 14: Tammelan tutkimittausten tulokset.

TAMMELA	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 länteen					
suoralla kohta 230	38,3	4,9	33,0	43,4	36
korotettu suojatie 315	31,8	6,5	24,9	38,2	69
liittymä 395	31,7	5,3	27,4	36,7	38
TUTKA, ajosuunta 2 itään					
suoralla kohta 230	37,7	5,8	31,7	42,7	38
korotettu suojatie 315	31,0	7,0	24,3	37,2	44
liittymä 395	29,4	7,8	20,8	36,4	22
suoralla kohta 450	32,0	6,2	25,5	39,6	26

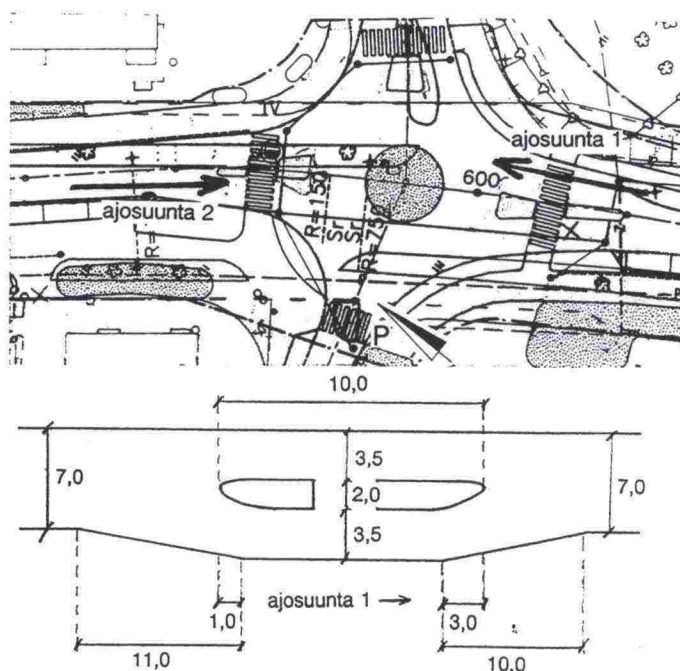
Kuvaan 22 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät. Kuvasta näkyy, että nopeudet laskevat korotetun suojatien kohdalla. Sen geometria on kuitenkin sellainen, että sen voi ylittää korkeallakin nopeudella. Viistekaltevuus on henkilöautojen kannalta pieni. Liittymän muotoilun vaikutusta nopeuksiin ei voi ajoanalysaattorikuvasta havaita. Ajoanalysaattoriautolla tehtiin ajoneuvoseurantoja ainoastaan yhteen suuntaan.



Kuva 22: Tammelassa ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

### 3.2.11 Mt 276, Kyröskoski

Maantie 276 on Kyröskosken taajaman pääkatu. Tiellä on kolme kiertoliittymää 300 metrin välein ja niiden väleillä viisi keskisaarekkeen avulla rakennettua ajolinjan sivusiirtymää. Kiertoliittymien kiertosaarekkeen säde on kahdessa liittymässä 5 metriä ja yhdessä 7,5 metriä. Ajettaessa Kyröskosken läpi pohjoiseen Vaasan suuntaan sivusiirtymiä on kolme ja vastakkaiseen suuntaan kaksi. Siirtymän suuruus on 2,0 metriä. Maantiellä 276 Kyröskosken keskustassa on nopeakäyttö 30 km/h ja reunatuet. Tiellä on säännöllistä linja-autoliikennettä. Kevyen liikenteen väylän ja ajoradan välisellä erotuskaistalla on pysäköintiä. Piirrokset keskustan sisääntuloporttina olevasta eteläisimmästä kiertoliittymästä ja sivusiirtymästä ovat kuvassa 23.



Kuva 23: Kiertoliittymä (kiertosaarekkeen säde 5 m) ja ajolinjan sivusiirtymän mitat Kyröskoskella.

Tutkalla mitattiin Tampereen suunnasta Kyröskoskelle saapuvia ajoneuvoja. Nopeus mitattiin noin 75 metriä ennen eteläisintä kiertoliittymää, kiertoliittymässä ja ensimmäisessä sivusiirtymässä. Kiertoliittymän kiertosaarekkeen säde on 5 metriä. Taulukossa 15 ovat tutkimustulokset.

Taulukko 15: Kyröskosken tutkimustulokset.

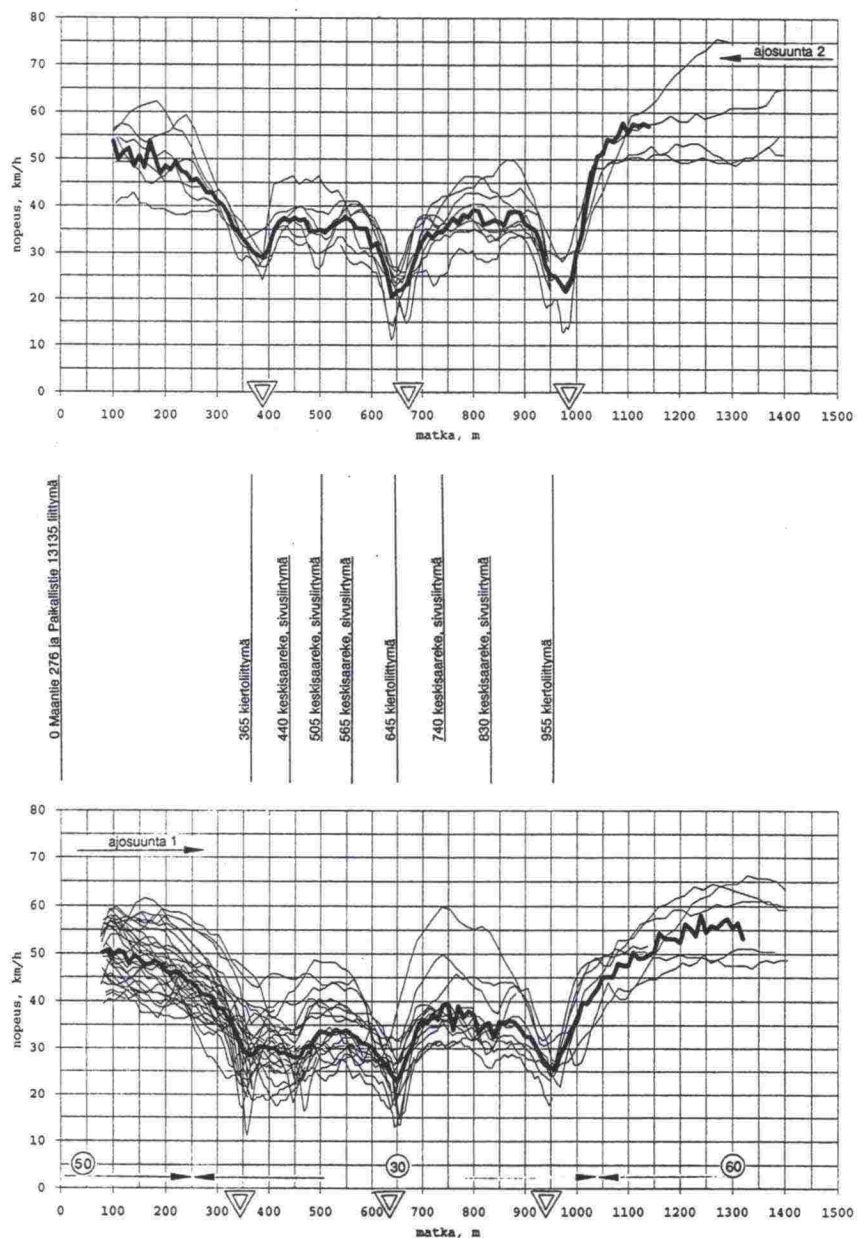
KYRÖSKOSKI	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 pohjoiseen					
ennen kiertoliittymää 290	43,6	6,3	37,9	49,7	82
kiertoliittymä 365	29,0	4,3	25,2	33,1	104
sivusiirtymä, keskisaareke kohta 440	29,0	5,3	24,0	33,9	162

Kiertoliittymässä ajoneuvojen keskinopeus laski alle 30 km/h:iin. Raskaiden ajoneuvojen nopeudet olivat kiertotilassa 26,7 km/h, joka oli 2,3 km/h alempi kuin



henkilöautoilla. Ennen kiertoliittymää raskaiden ajoneuvojen nopeus oli 42,8 km/h ja henkilöautojen 43,5 km/h. Korkein 75 metriä ennen kiertoliittymää mitattu nopeus oli 63 km/h ja kiertoliittymässä 41 km/h. Ajolinjan sivusiirtymässä nopeudet olivat samansuuruisia kuin kiertoliittymässä. Autoilijoista 85 prosenttia ei ylittänyt nopeutta 33,9 km/h, joka on vain vähän korkeampi kuin nopeakirjoitus. Sivusiirtymä vaikuttaa raskaiden ajoneuvojen nopeuksiin selvästi enemmän kuin henkilöautojen nopeuksiin. Raskaiden autojen keskinopeus sivusiirtymässä oli 22,6 km/h, kun se henkilöautoilla oli 29,9 km/h. Korkein tällä kohdalla mitattu nopeus oli 46 km/h.

Kuvaan 24 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrä. Nopeuskäyristä erottuvat kiertoliittymäkohdat. Kiertoliittymien välillä olevissa ajolinjan sivusiirtymissä nopeustaso on hieman korkeampi kuin liittymissä. Hidastinosuuden läpi voi ajaa korkeallakin nopeudella, kuten yksittäisten ajoneuvojen nopeuskäyristä voi havaita. Kiertoliittymien kohdalla näidenkin ajoneuvojen nopeudet kuitenkin laskevat.



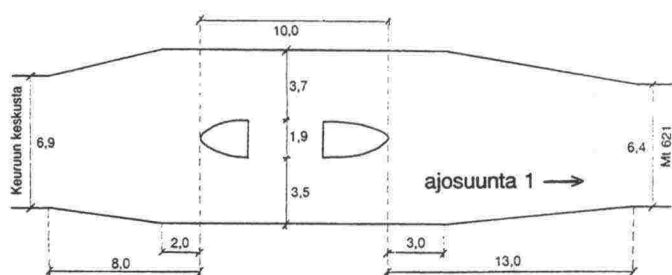
Kuva 24: Kyröskoskella ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

### 3.2.12 Pt 16511 ja Pt 16512, Keuruu

Mittaukset tehtiin Keuruuntiellä, jonka muodostavat paikallistiet 16511 ja 16512. Paikallistie 16511 on Keuruun keskustan pääkatu, joka alkaa valtatieltä 23. Paikallistie 16512 yhdistää paikallistien 16511 ja maantien 621. Ajoanalysaattorimittaus sisältää myös noin 200 metrin pituisen osuuden valtatieltä 23 Jyväskylän suuntaan.

Valtatien 23 ja paikallistien 16511 liittymässä on kiertoliittymä, jonka kiertosaarekkeen säde on 10 metriä. Paikallistiellä 16511 on neljä 10 cm korotettua suojatietä. Kahden eteläisimmän korotuksen pituus on 13,5 m. Korotuksien viisteiden kaltevuus on 1:30 ja tasaisen osan pituus 7,5 m. Muiden korotusten pituudet ovat 9 ja 11 metriä. Paikallisteiden 16511 ja 16512 liittymässä olevan kiertoliittymän keskisaarekkeen säde on 5 metriä. Kiertotilassa on yhden metrin kavennus. Paikallistiellä 16512 on kaksi keskisaarekkeen avulla toteutettua ajolinjan sivusiirtymää. Sivusiirtymän suuruus on yksi metri.

Paikallistiellä 16511 on 30 km/h:n ja paikallistiellä 16512 40 km/h:n nopeusrajoitus. Valtatiellä 23 on mittausosuudella nopeusrajoitus 60 km/h ja kiertoliittymän kohdalla 50 km/h. Paikallisteilla on reunatuet ja jalkakäytävät. Kuvassa 25 on mittapiirros ajolinjan sivusiirtymästä.



Kuva 25: Ajolinjan sivusiirtymän mitat Keuruulla.

Taulukossa 16 ovat tutkimittausten tulokset. Tutkamittauksen kohteena olivat kaksi eteläisintä korotettua suojatietä (etäisyys 620 ja 690 m) ja paikallistiellä 16512 oleva ajolinjan sivusiirtymä (etäisyys 1060 m).

Taulukko 16: Keuruun tutkimittausten tulokset.

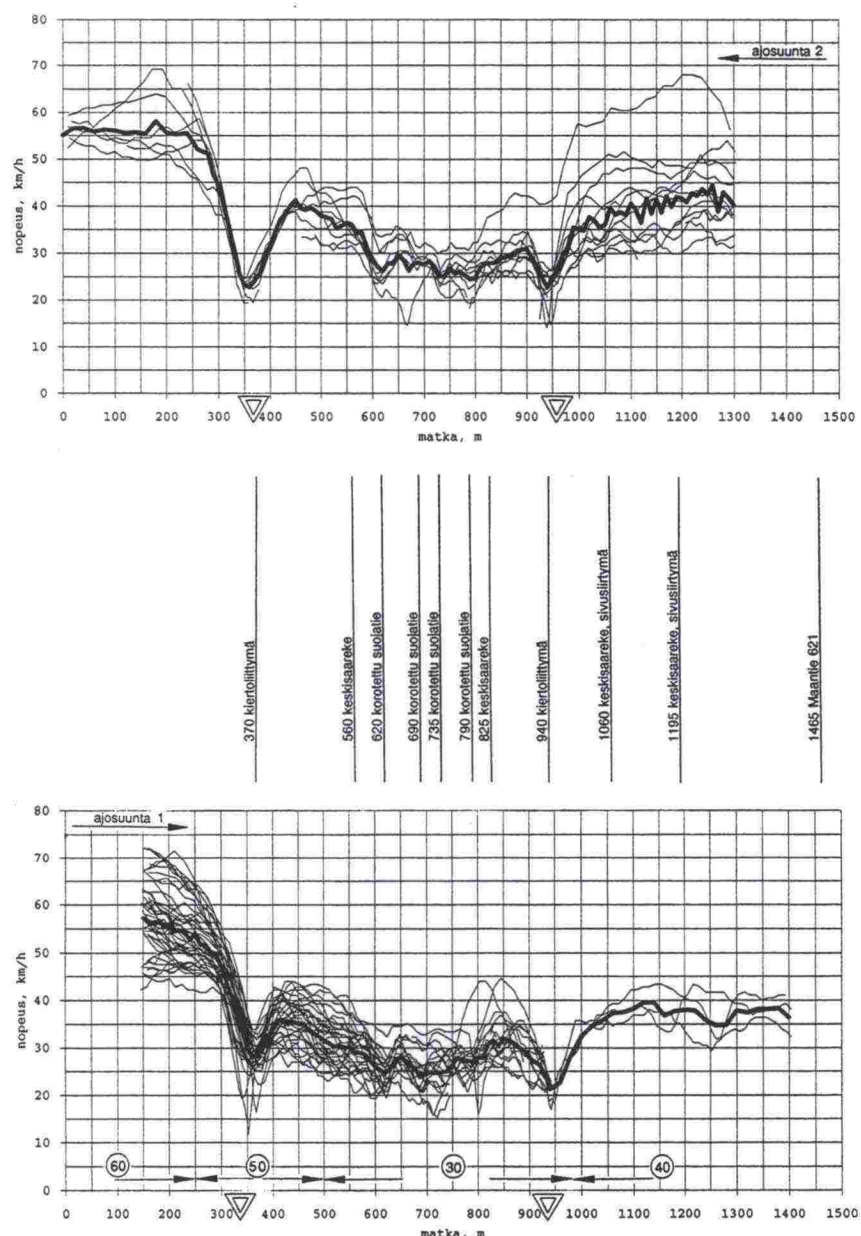
KEURUU	NOPEUS				havaintojen luku- määrä
	— v km/h	keski- hajonta km/h	v 15% km/h	v 85% km/h	
TUTKA, ajosuunta 1 vt 23-mt 621					
korotuksien välillä 660	30,3	4,9	25,2	36,6	38
korotettu suojatie 690	25,8	4,5	21,2	29,8	84
sivusiirtymä, keskisaareke					
kohta 1060	35,9	7,0	29,1	42,5	134
saarekkeiden väli kohta 1130	40,7	6,3	34,9	46,8	128
TUTKA, ajosuunta 2 mt 621-vt 23					
sivusiirtymä, keskisaareke					
kohta 1060	35,2	6,1	29,2	41,3	92
saarekkeiden väli kohta 1130	41,0	6,5	34,2	47,3	140

Korotuksen kohdalla ja kahden korotuksen välillä keskinopeus ei ylittänyt 30 km/h:n nopeusrajoitusta. Korkein korotuksessa mitattu nopeus oli 38 km/h ja korotusten välillä



40 km/h. Mittauksen kohteena olleen sivusiirtymän kohdalla nopeusrajoitus on 40 km/h. Keskinopeudet olivat selvästi alle tämän nopeuden sivusiirtymässä. Kahden sivusiirtymän välillä keskinopeudet olivat hieman korkeammat kuin 40 km/h. Maksiminopeus sivusiirtymässä oli 58 km/h ja kahden sivusiirtymän välillä 68 km/h. Raskaiden ajoneuvojen keskinopeus sivusiirtymässä oli 29,0 km/h, joka on 6,6 km/h alempi kuin henkilöautoilla. Sivusiirtymien välillä nopeusero oli vain 1,3 km/h.

Kuvaan 26 on piirretty ajoanalysaattorimittausten perusteella matka-nopeus -käyrät. Ajoanalysaattorikuvaajista erottuvat kiertoliittymien ja korotettujen suojateiden kohdat. Keskisaarekkeet ja sivusiirtymät laskevat nopeuksia edellämainittuja ratkaisuja vähemmän. Nopeudet eivät nouse korkeiksi korotusten välillä, vaan nopeustaso pysyy tasaisen alhaisena.

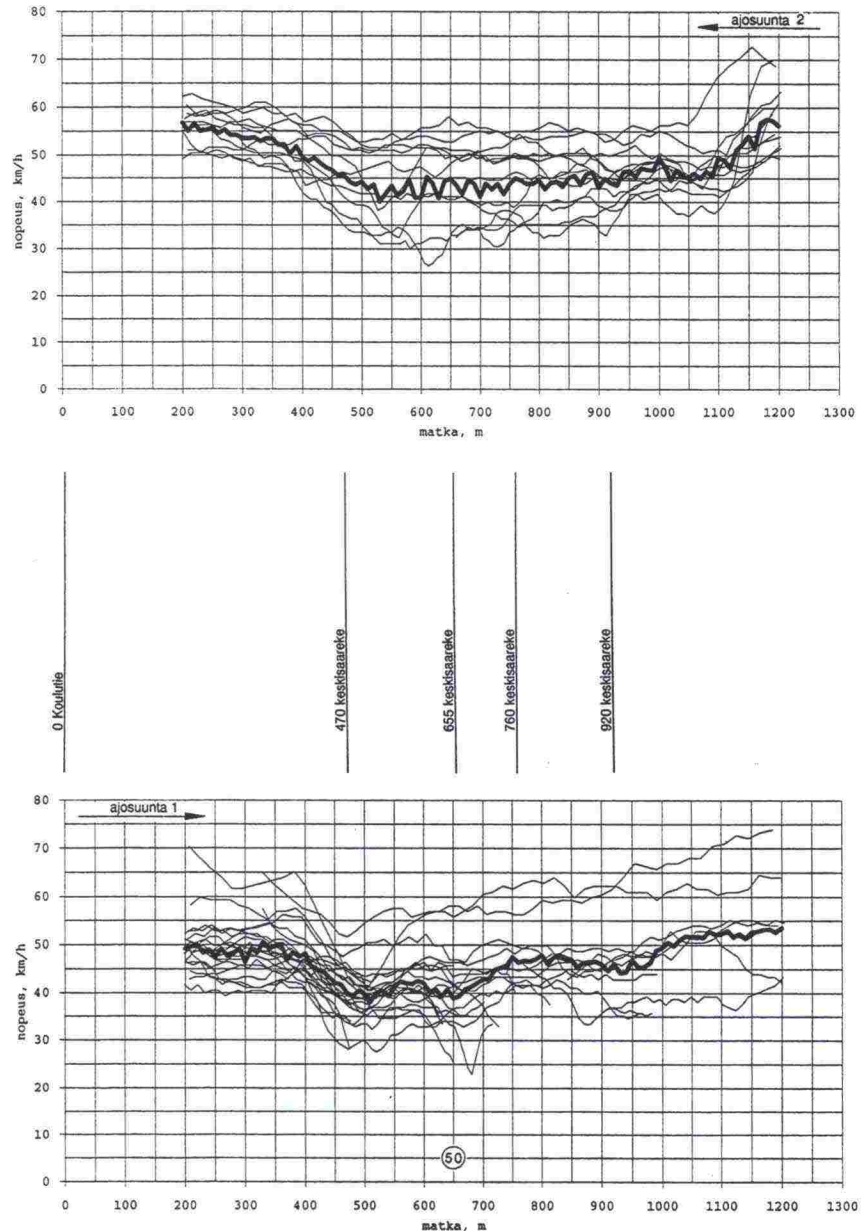


Kuva 26: Keuruulla ajoanalysaattorilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.





Ajoanalysointiaineiston perusteella piirretyt matka-nopeus -kuvaajat ovat kuvassa 28. Osuudella, jolla on keskisaarekkeita, keskinopeus on alle 50 km/h. Nopeustaso on tasainen, mutta hajonta on suuri. Yksittäisten ajoneuvojen nopeuskäyristä voi havaita, että taajaman läpi voi ajaa korkeallakin nopeudella.



Kuva 28: Lievestuoreella ajoanalysointilla mitatut matka-nopeus -kuvaajat.

## 4 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

### 4.1 Nopeudet

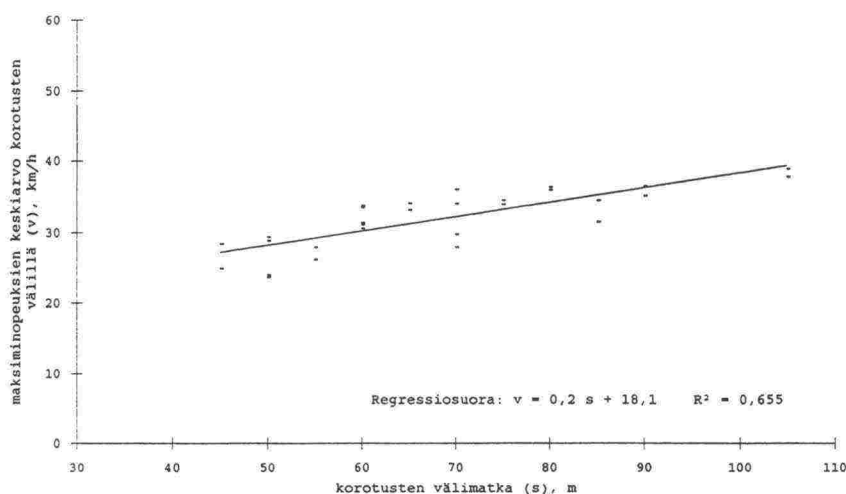
#### Korotukset

Korotuksia tutkittiin Laaksolahdentiellä, Pikkulinnunreitillä ja Karakalliontiellä Espoossa, Sauvossa, Tammelassa sekä Keuruulla. Tutkamittauksissa ajoneuvojen keskinopeudet olivat korotuksissa 20,7 - 31,5 km/h 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella. Alhaisimmat nopeudet mitattiin Sauvossa. Karakalliontiellä, jossa töyssyt ovat loivia ja nopeusrajoitus on 40 km/h, keskinopeus töyssyllä oli hieman yli 40 km/h. Nopeuksien hajonta vaihteli eri kohteissa välillä 4,0 - 8,9 km/h. Raskaiden ajoneuvojen nopeudet korotuksissa olivat 7,9 - 12,6 km/h alhaisempia kuin henkilöautojen nopeudet.

Korkein yksittäinen nopeus ympyränkaaren muotoisilla töyssyillä oli 41 km/h. Se mitattiin Laaksolahdentiellä. Tasalakisissa korotuksissa maksiminopeudet olivat tätä arvoa korkeampia. Maksiminopeudet olivat eri kohteissa 47 - 65 km/h. Nopeus, jonka kuljettajista 85 prosenttia alittaa ( $v_{85\%}$ -nopeus) oli 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella 23,3 - 37,7 km/h. Karakalliontiellä mitattiin korkein  $v_{85\%}$ -nopeus, joka oli 50,6 km/h.

Nopeusrajoitusalueella 30 km/h maksiminopeuksien keskiarvo korotusten välillä oli 25,6 - 36,0 km/h. Karakalliontiellä keskiarvo oli töyssyvälillä 41,8 - 49,9 km/h. Alhaisimmat nopeudet mitattiin 100 metrin töyssyvälillä ylämäkeen ja korkeimmat nopeudet 200 metrin töyssyvälillä alamäen suuntaan. Nopeuksien hajonta mittauskohteissa oli 3,2 - 8,1 km/h.

Korotusten välinen etäisyys vaikuttaa nopeuksiin korotusten välillä. Laaksolahdentien, Pikkulinnunreitien, Sauvon ja Keuruun ajonalyysaattorilla tehdyistä aineistosta laskettiin maksiminopeuksien keskiarvot jokaisella korotusvälillä. Aineistoon sovitettiin lineaarinen regressiosuora. Tulokset on esitetty kuvassa 29. Niiden mukaan ajoneuvojen keskinopeus korotusvälillä on alle 30 km/h, kun korotusten välinen etäisyys ei ylitä 60 metriä.



Kuva 29: Ajoradan korotuksien välisen etäisyyden vaikutus maksiminopeuksien keskiarvoon korotusvälillä

Korotuksen korkeudella voidaan vaikuttaa kuljettajien käyttämiin nopeuksiin. Esimerkiksi Laaksolahdentiellä noin 6 metriä pitkällä 17 cm korkeilla ympyränkaaren muotoisilla töyssyillä ajoanalyysaattorilla mitattu keskinopeus oli 20,2 km/h. Muilta



muotoisilla töyssyillä ajoanalysaattorilla mitattu keskinopeus oli 20,2 km/h. Muilta mitoiltaan samanlaisilla mutta 12 - 13 cm korkeilla töyssyillä nopeuksien keskiarvo oli vastaavasti 25,9 km/h. Pikkulinnunreitillä keskinopeus oli 34,1 km/h tasalakisella töyssyllä, jonka korkeus on 4 cm ja viistekaltevuus on 1:15. Samanmuotoisilla 11 cm korkeilla töyssyillä, joiden viistekaltevuus on 1:10, keskinopeus oli 24,7 km/h. Tasalakisessa töyssyissä nopeuksiin vaikuttaa sekä korkeus että viistekaltevuus.

## Kavennukset

Yksipuolisia kavennuksia tutkittiin Sauvossa. Tutkamittauksissa ei otettu huomioon kohtaamistilanteita. Ajoneuvojen keskinopeus oli 34,1 km/h ja nopeuksien hajonta 7,6 km/h, kun kavennus on ajosuunnan kaistalla. Jos kavennus on vastakkaisen suunnan kaistalla keskinopeus oli 38,1 km/h ja hajonta 8,1 km/h. Yksipuolisten kavennusten kohdalla  $v_{85\%}$ -nopeuteen ei vaikuttanut kavennuksen sijainti. Maksiminopeudeksi kavennuksen ollessa ajosuunnan kaistalla mitattiin 44 km/h. Kun kavennus on vastakkaissuunnan kaistalla, korkein mitattu nopeus oli 58 km/h. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että nopeushavaintoja tehtiin vähän eikä väylägeometrian vaikutuksia nopeuksiin tutkittu.

Kaksipuolisissa kavennuksissa mitattiin nopeuksia tutkalla Laaksolahdentiellä ja Kirstinkadulla. Tuloksissa ei ole mukana kohtaamistilanteita. Laaksolahdentiellä nopeuksien keskiarvo oli molemmat suunnat huomioiden 50,4 km/h ja nopeuksien hajonta 8,5 km/h.  $V_{85\%}$ -nopeus oli 56,6 km/h. Keskinopeus ylittää 40 km/h:n nopeusrajoituksen selvästi. Kirstintiellä, jossa nopeusrajoitus on 30 km/h oli nopeuksien keskiarvo molemmat suunnat yhteenlaskettuna 42,5 km/h, hajonta 5,8 km/h ja  $v_{85\%}$ -nopeus 48,0 km/h. Korkeimmat mitatut nopeudet kaksipuolisissa kavennuksissa olivat noin kaksinkertaisia verrattuna nopeusrajoitukseen. Laaksolahdentiellä maksiminopeus oli 76 km/h ja Kirstintiellä 62 km/h.

Kavennuksissa nopeudet laskivat selvästi ainoastaan kohtaamistilanteissa. Ajoanalysaattorilla mitattujen nopeuksien keskiarvo Kirstintien kaksipuolisessa kavennuksessa oli toisessa ajosuunnassa koko aineiston perusteella 23,4 km/h ja hajonta 18,4 km/h. Ilman kohtaamistilanteita nopeuksien keskiarvo oli 42,9 km/h ja nopeuksien keskihajonta 4,0 km/h.

## Sivusiirtymät

Tutkimuksen sivusiirtymäkohteita olivat Paimio, Kirstintie Espoossa, Itämerenkatu Helsingissä, Kyröskoski ja Keuruu. Kirstintiellä tehtiin mittauksia ajoradan sivusiirtymässä, muissa mittaushaaroissa ajolinjan sivusiirtymässä. Kirstintiellä ja Kyröskoskella nopeusrajoitus on 30 km/h, muissa kohteissa 40 km/h.

Tutkalla mitatut keskinopeudet olivat ajolinjan siirtymän kohdalla 29,0 - 43,6 km/h. Alhaisin keskinopeus oli Kyröskoskella ja korkein Itämerenkadulla. Kirstintiellä ajoradan sivusiirtymässä keskinopeus oli 45,2 km/h.  $V_{85\%}$ -nopeudet olivat ajolinjan sivusiirtymässä 33,8 - 49,8 km/h, joista alin on mitattu Kyröskoskella ja korkein Itämerenkadulla. Kirstintien ajoradan sivusiirtymässä  $v_{85\%}$ -nopeus oli 51,0 km/h. Sivusiirtymät vaikuttavat erityisesti isoihin ajoneuvoihin. Raskaiden ajoneuvojen nopeudet olivat noin 5 - 7 km/h alempia kuin henkilöautojen nopeudet sivusiirtymien kohdalla.

Itämerenkadulla ja Keuruulla tehtiin tutkamittauksia sivusiirtymäkohtien lisäksi myös suoralla osuudella. Näissä kohdissa ajoneuvojen keskinopeudet olivat noin 5 km/h

korkeampia kuin sivusiirtymissä. Raskaiden ajoneuvojen ja henkilöautojen nopeusero oli Keuruulla 1,3 km/h ja Itämerenkadulla 2,1 km/h. Nopeusero on selvästi pienempi kuin sivusiirtymissä.

Kun tarkastellaan sivusiirtymän suuruuden vaikutusta nopeuksiin ajolinjan sivusiirtymässä voidaan todeta seuraavaa. Yhden metrin sivusiirtymässä Keuruulla keskinopeus oli 35,6 km/h. Paimiossa ja Itämerenkadulla noin 2,5 metrin sivusiirtymissä keskinopeudet olivat 36,7 km/h ja 43,6 km/h. Kyröskoskella edellisiä kohteita 10 km/h alemmalla nopeusrajoitusalueella (30 km/h) sijaitsevan sivusiirtymän suuruus on kaksi metriä ja keskinopeus oli 29,0 km/h. Mitattuihin nopeuksiin vaikuttavat sivusiirtymän suuruuden lisäksi monet muutkin tekijät, kuten nopeusrajoitus ja tien ympäristö.

## Kiertoliittymät

Tutkimuksen kiertoliittymäkohteita olivat Anttola, Kyröskoski ja Keuruu. Anttolassa ja Kyröskoskella mitattiin tutkalla nopeuksia kiertotilassa. Taajamaan saapuvien ajoneuvojen keskinopeudet olivat Kyröskoskella 29,0 km/h ja Anttolassa 34,6 km/h. Eräs nopeuseroon vaikuttava tekijä on kiertoliittymän geometria. Anttolassa kiertosaarekkeen säde on pienempi ja liittymää ei ole porrastettu riittävästi. Anttolan keskustasta poistuvalla suunnalla porrastus puuttuu kokonaan ja keskinopeus oli kiertotilassa 42,5 km/h.

Myös ajoanalysaattoriaineiston avulla tutkittiin nopeuksia kiertoliittymissä. Keuruun ja Kyröskosken taajaman sisällä olevissa kiertoliittymissä keskinopeus kiertotilassa oli 21,7 - 22,8 km/h. Näissä kiertoliittymissä kiertosaarekkeen säde on 5 metriä.

Kiertosaarekkeen koko vaikuttaa nopeuksiin. Kyröskosken ajoanalysaattoriaineistosta poimittiin taajamaan saapuvien, tulosuunnasta katsoen liittymässä suoraan ajavien keskinopeudet laitimmaisissa kiertoliittymissä. Keskinopeus kiertotilassa oli 25,7 km/h, kun kiertosaarekkeen säde on 5 metriä, ja 30,2 km/h, kun kiertosaarekkeen säde on 7,5 metriä.

Ajoanalysaattoriaineiston perusteella tutkittiin kiertoliittymästä tulosuunnasta katsoen vasemmalle ja oikealle ajavien miniminopeudet kiertotilassa. Tarkastelun kohteena olivat Anttolan (kiertosaarekkeen säde 2,75 metriä), Kyröskosken (7,5 metriä) ja Keuruun (10 metriä) kiertoliittymät. Vasemmalle ajavien keskinopeudet olivat Anttolassa 14,6 km/h, Kyröskoskella 16,7 km/h ja Keuruulla 24,1 km/h. Oikealle ajavien vastaavat nopeudet olivat Anttolassa 20,8 km/h, Kyröskoskella 24,3 km/h ja Keuruulla 28,2 km/h.

## Muut ratkaisut

Lievestuoreella taajaman läpi kulkevalle tielle on rakennettu keskisaarekkeita. Keskisaarekkeiden kohdalla keskinopeudet ovat 2 km/h alempia kuin saarekkeiden välillä. Nopeuksien keskihajonta oli saarekkeen kohdalla hieman suurempi kuin niiden välillä. Suuret ajoneuvot käyttävät henkilöautoja alempia nopeuksia keskisaarekkeen luona. Raskaiden autojen keskinopeus oli saarekkeiden kohdalla 4,7 km/h alempi kuin henkilöautojen, mutta niiden välillä raskaiden ajoneuvojen keskinopeus oli jopa hieman korkeampi kuin henkilöautojen. Nopeuksien keskiarvo sekä saarekkeiden kohdalla että niiden välillä on selvästi alempi kuin 50 km/h:n nopeusrajoitus. Yksittäiset nopeushavainnot ylittivät rajoituksen kuitenkin selvästi. Maksiminopeudeksi saarekkeen kohdalla mitattiin 65 km/h ja saarekkeiden välillä 71 km/h.



## 4.2 Hidastuvuudet ja kiihtyvyydet

Hidastuvuudet ja kiihtyvyydet määritettiin töyssyillä ja kiertoliittymissä. Töyssyistä tarkastelun kohteena olivat Laaksoahdentien 12 cm ja 17 cm korkeat töyssyt sekä Pikkulinnunreitin 11 cm korkeat töyssyt. Lisäksi tutkittiin Kyröskosken ja Keuruun kiertoliittymiä.

Hidastuvuus- ja kiihtyvyydeltä tarkastelut tehtiin ajoanalyysointilaitteiston perusteella. Aineistosta sekunnin välein saatu nopeustieto sijoitettiin aika-nopeus-koordinaatistoon. Nollahetkeksi valittiin alhaisin nopeus töyssyn tai kiertoliittymän kohdalla. Tarkastelussa kiihdytys katsottiin päättyneeksi silloin, kun kahden peräkkäisen sekunnin aikana nopeus ei enää kasvanut. Vastaavasti hidastus katsottiin alkaneeksi silloin, kun nopeus alkoi laskea kahden peräkkäisen sekunnin aikana ennen hidastinta. Koordinaatistoon sijoitetuille arvoille tehtiin lineaarinen regressioanalyysi. Keskimääräinen kiihtyvyys on regressiosuoran kulmakerroin. Regressiosuoran muoto on

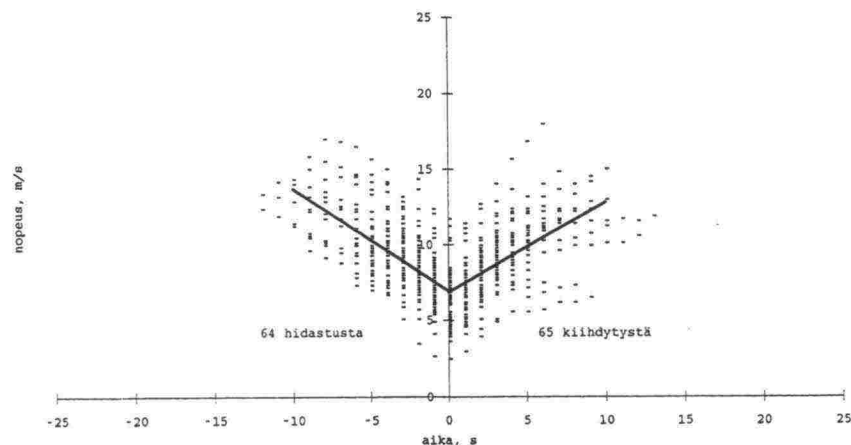
$$v_t = a \cdot t + v_0$$

$v_t$  = ajoneuvon nopeus hetkellä  $t$  (m/s)

$a$  = keskimääräinen kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )

$v_0$  = ajoneuvon alhaisin nopeus hidastimen kohdalla (m/s).

Kuvassa 30 on esitetty esimerkkinä Laaksoahdentien 12 cm:ä korkeita töyssyjä koskeva aineisto sijoitettuna aika-nopeus-koordinaatistoon ja aineistoon sovitettut regressiosuorat.



Kuva 30: Laaksoahdentiellä ajoanalyysointilaitteella 12 cm korkeiden töyssyjen kohdalla mitatut nopeusarvot sijoitettuna aika-nopeus-koordinaatistoon sekä aineistoon sijoitetut regressiosuorat (regressiosuoran kulmakerroin on keskimääräinen kiihtyvyys)

Töyssyillä kiihtyvyyssarvoihin vaikuttavia tekijöitä olivat töyssyn korkeus ja töyssyjen välinen etäisyys. Korkeilla töyssyillä kiihtyvyydet ja hidastuvuudet olivat suurimmat. Tämä johtuu siitä, että nopeudet laskevat alhaisimmiksi korkeilla töyssyillä. Pitkä töyssyväli kasvattaa kiihtyvyys- ja hidastuvuusarvoja. Tämä on seurausta siitä, että pitkällä töyssyväliä nopeudet ovat korkeammat kuin lyhyellä töyssyväliä. Töyssyn korkeus ja töyssyjen välinen etäisyys vaikuttivat enemmän kiihtyvyyksiin kuin hidastuvuuksiin. Keskimääräinen hidastuvuus töyssyillä oli  $0,43 - 0,77 \text{ m/s}^2$  ja kiihtyvyys  $0,49 - 0,85 \text{ m/s}^2$ . Korkein mitattu hetkellinen hidastuvuus oli  $4,24 \text{ m/s}^2$  ja kiihtyvyys  $2,12 \text{ m/s}^2$ . Tarkastelun kohteena olleet töyssyt sijaitsivat nopeusrajoitusalueella  $30 \text{ km/h}$ .



Keskimääräiset hidastuvuudet kiertosaarekehalkaisijaltaan 10 metrin kiertoliittymissä 30 km/h:n nopeusrajoitusalueella vaihtelivat välillä 0,23 - 0,28 m/s<sup>2</sup>. Keskimääräiset kiihtyvyydet olivat 0,43 - 0,51 m/s<sup>2</sup>. Hetkellinen maksimihidastuvuus oli 2,45 m/s<sup>2</sup> ja maksimikiihtyvyys 1,47 m/s<sup>2</sup>. Kyröskoskella keskimääräinen hidastuvuus ja kiihtyvyys olivat hieman suurempia taajaman laidalla olevassa kiertoliittymässä kuin hidastinosuuden keskellä olevassa kiertoliittymässä. Keskimääräiset hidastuvuuden ja kiihtyvyyden arvot olivat korkeimmat Keuruun kiertoliittymässä, jossa kiertosaarekkeen halkaisija on 20 metriä. Muita kohteita korkeampiin arvoihin vaikuttaa tutkitulla suunnalla oleva 60 km/h:n nopeusrajoitus. Keskimääräinen hidastuvuus oli 0,57 m/s<sup>2</sup> ja kiihtyvyys 0,72 m/s<sup>2</sup>. Taulukossa 18 on esitetty regressioanalyysien tulokset.

Taulukko 18: Regressioanalyysin avulla laskettuja keskimääräisiä kiihtyvyyksiä hidastimilla

MITTAUSKOHDE	Keskimääräinen kiihtyvyys, m/s <sup>2</sup> a	Nopeus hidastimessa, m/s v <sub>0</sub>	selitysaste R <sup>2</sup>	Kiihtyvyyshavaintojen lukumäärä
<b>HIDASTUS TÖYSSYLLE</b>				
Pikkulinnunreitti				
11 cm korkeat töyssyt	-0,43	7,28	0,244	63
Laaksolahdentie				
12 cm korkeat töyssyt	-0,68	6,95	0,460	64
17 cm korkeat töyssyt	-0,77	5,95	0,442	64
<b>KIIHDYTYS TÖYSSYLÄ</b>				
Pikkulinnunreitti				
11 cm korkeat töyssyt	0,49	7,22	0,232	65
Laaksolahdentie				
12 cm korkeat töyssyt	0,60	6,87	0,401	65
17 cm korkeat töyssyt	0,85	5,76	0,519	68
<b>HIDASTUS KIERTOLIITTYMÄÄN</b>				
Keuruu				
20 m kiertosaareke, valtatiellä	-0,57	8,57	0,701	37
10 m kiertosaareke, hidastinjakson keskellä	-0,28	7,45	0,234	10
Kyröskoski				
10 m kiertosaareke, portikohta	-0,28	8,87	0,475	25
10 m kiertosaareke, hidastinjakson keskellä	-0,23	6,78	0,165	15
<b>KIIHDYTYS KIERTOLIITTYMÄSTÄ</b>				
Keuruu				
20 m kiertosaareke, valtatiellä	0,72	7,00	0,655	7
10 m kiertosaareke, hidastinjakson keskellä	0,43	5,56	0,844	3
Kyröskoski				
10 m kiertosaareke, portikohta	0,51	7,16	0,863	2
10 m kiertosaareke, hidastinjakson keskellä	0,48	6,55	0,455	12

### 4.3 Ajokäyttäytyminen

Kuljettajien ajokäyttäytymisestä hidasteissa tehtiin havaintoja sekä mittausten aikana että jälkikäteen videonauhalla.

Ajoradan korotukset vaikuttavat kaikkien kuljettajien nopeuksiin. Kadulla, jolla ei ole reunatukia töyssyt on mahdollista sivuuttaa osittain. Jotkut kuljettajat muuttavat ajolinjaansa siten, että auton oikeanpuoleiset renkaat sivuuttavat töyssyn pientareen puolelta. Tällaisella ajotavalla kuljettajat pystyvät käyttämään töyssyjen kohdalla korkeampaa nopeutta kuin ne keskeltä ylittävät.

Kaksipuolisten kavennusten kohdalla ja niiden välisillä osuuksilla kuljettajat ajoivat lähellä tien keskilinjaa. Näin ajamalla heidän ei tarvinnut muuttaa ajolinjaansa kavennusten kohdalla. Ainoastaan kohtaamistilanteet muuttivat tätä ajotapaa. Kohtaamistilanteissa yleensä kavennukseen viimeksi tullut väisti. Yksipuolisten kavennusten kohdalla ja niiden välillä kuljettajat käyttivät samaa ajouraa molempiin suuntiin ajaessaan, mikäli vastaan tulijoita ei ollut. Kohtaamistilanteissa väisti se kuljettajista, jonka kaistalla kavennus oli.

Laaksoahdentiellä on kavennusosuudella matala reunatuki ainoastaan kavennusten kohdalla. Kaksipuolisessa kavennuksessa kohtaamistilanteessa eräs kuorma-auton kuljettaja ei jäänyt odottamaan vastaan tulijaa vaan ylitti kavennuksen ajamalla oikeanpuoleiset renkaat pientareella.

Kiertoliittymässä liittymään saapuvilla on väistämisvelvollisuus kiertotilassa ajaviin nähden. Liikennemerkeistä huolimatta tätä sääntöä ei yksiselitteisesti noudatettu Anttolassa. Tutkitulla kolmen tunnin aikajaksolla yksitoista kuljettajaa noudatti väistämisvelvollisuutta, mutta neljässä tapauksessa kiertotilassa ajava väisti. Muissa kiertoliittymäkohteissa kiertoliittymään saapuvat väistivät kiertotilassa ajavia. Muutamat kuljettajat odottivat jopa koko kiertotilan tyhjentymistä ennenkuin itse ajoivat kiertoliittymään. Anttolaa lukuunottamatta kiertotilasta poistuvat käyttivät yleisesti suuntamerkkiä myös pääsuunnassa kiertoliittymän läpi ajaessaan. Anttolassa tehdyt havainnot poikkeavat muista kohteista, koska siellä kiertoliittymää ei ole pääsuunnilla porrastettu riittävästi ja kiertosaareke on pieni.



## 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

### Hidastimet

Hidastimen tarkoituksena on nimensä mukaisesti alentaa kuljettajien käyttämiä nopeuksia. Hidastintyypeistä on tämän tutkimuksen kenttämittauksissa tarkasteltu ajoradan korotuksia, yksi- ja kaksipuolisia kavennuksia, ajolinjan sivusiirtymiä ja kiertoliittymiä. Tämän lisäksi on tarkasteltu muiden tutkimusten tuloksia.

Rakenteellisten hidastimien lisäksi on muitakin tekijöitä, jotka vaikuttavat kuljettajien käyttämiin nopeuksiin. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi nopeusrajoitus, tien geometria ja tiehen rajoittuvien alueiden maankäyttö. Osassa mittauskohteista näiden tekijöiden vaikutus voi olla suurempi kuin itse hidastimen. Niiden vaikutuksen osuutta nopeuksiin ei tässä tutkimuksessa ole tutkittu.

Ajoradan korotus alentaa tehokkaasti ajoneuvojen nopeuksia. Siten se sopii paikkoihin, joissa halutaan parantaa erityisesti kevyen liikenteen turvallisuutta. Se on toimiva ratkaisu myös niillä kaduilla, joilla liikenne on vähäistä. Tavallisin korotus on töyssy. Ajoradan korotuksissa nopeudet ovat yleensä alle 30 km/h. Korotusten välillä nopeudet ovat noin 5 - 15 km/h korkeampia kuin korotuksen kohdalla. Korotusten välisen etäisyyden tulisi olla noin 60 metriä, jos halutaan, että maksiminopeuksien keskiarvo korotusten välilläkin on enintään 30 km/h. Töyssyn muoto vaikuttaa nopeuksiin. Tanskalaisissa tutkimuksissa parhaimmaksi on osoittautunut sinikäyrän muotoinen töyssy. Sen yli ajettaessa pystysuuntaiset kiihtyvyydet kasvavat tasaisesti. Näin ollen ajomukavuus heikkenee vähitellen eikä yhtäkkisesti, kuten ympyränkaaren muotoisella tai tasalakisella töyssyllä. Korotusten haittapuolia on mm. se, että ne laskevat raskaiden ajoneuvojen nopeuksia enemmän kuin henkilöautojen nopeuksia. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty leveäraidevälisiä ajoneuvoja varten loivennuksia korotuksiin tai raskaiden ajoneuvojen raideväliä kapeampia ajoradan osittaisia korotuksia. Ne aiheuttavat kuitenkin ongelmia talvikunnossapidolle. Katuosuuksilla, joilla on korotuksia, nopeustaso vaihtelee voimakkaasti. Toisiaan seuraavat hidastukset ja kiihdytykset lisäävät polttoaineenkulutusta ja siten myös päästöjen määrä kasvaa. Korotusten välistä etäisyyttä pienentämällä nopeustaso saadaan pysymään tasaisempaan.

Kavennuksien vaikutukset nopeuksiin ovat voimakkaasti riippuvaisia liikenteen määrästä. Vähäliikenteisillä teillä kohtaamistilanteita on harvoin, joten useimpien ajoneuvojen nopeudet kavennusten kohdalla laskevat vain vähän tai eivät lainkaan. Esimerkiksi eräässä tutkimuskohteessa nopeuksien keskiarvo kaksipuolisessa kavennuksessa oli kohtaamistilanteet mukaanlukien lähes 20 km/h alhaisempi kuin ilman niitä. Maksiminopeudet kavennuksissa olivat yleisesti kaksinkertaisia verrattuna nopeusrajoitukseen. Kavennuksien vaikutusta voidaan parantaa lisäämällä kavennuksen pituutta tai kaventamalla kuljettajan näkökenttää kavennuksen kohdalla esimerkiksi istutuksin.

Sivusiirtymissä nopeudet alenevat vähemmän kuin korotuksissa ja vain hieman enemmän kuin kavennuksissa. Ne kuitenkin vaikuttavat lähes kaikkien kuljettajien käyttämiin nopeuksiin riippumatta liikenteen määrästä. Sivusiirtymän mitoituksessa ongelmia aiheuttaa suurten ajoneuvojen tilantarve. Väljästi mitoitettussa sivusiirtymässä henkilöautojen nopeudet eivät laske riittävästi. Ongelman ratkaisemiseksi suurten ajoneuvojen tarvitsema lisätila voidaan päällystää karkeammalla pinnoitteella. Ajomukavuutta heikentävä pinnoite ei houkuttele henkilöautojen kuljettajia käyttämään tätä ajolinjan loivennusta. Sivusiirtymissä nopeuden muutokset eivät ole yhtä rajuja kuin esimerkiksi korotuksissa ja nopeustaso pysyy tasaisempaan kuin



korotusosuuksilla. Sivusiirtymän suuruus ja näköesteet siirtymän yhteydessä vaikuttavat nopeuksiin.

Kiertoliittymät eivät ole varsinaisesti hidastimia. Ne soveltuvat nopeuksien alentamiseen esimerkiksi taajamien sisään tulokohdissa olevissa liittymissä, jolloin ne toimivat taajamien porttikohtina. Kiertoliittymien kohdalla nopeudet laskevat samalle tasolle kuin korotuksissa. Nopeuden muutokset tapahtuvat kuitenkin rauhallisemmin kuin korotuksien kohdalla. Eri ajoneuvotyyppien väliset nopeuserot kiertoliittymissä ovat vähäisiä. Kiertoliittymän vaikutus nopeuksiin on kuitenkin alhainen silloin, kun liittymää ei ole porrastettu riittävästi. Suurikokoisten ajoneuvojen lisätilan tarve voidaan toteuttaa karkeapäälysteisellä kiertotilan kavennuksella tai liittymäalueen levennyksellä.

Suojateiden kohdalle rakennetut keskisaarekkeet laskevat ajoneuvojen nopeuksia hieman. Ne eivät kuitenkaan estä kuljettajia käyttämästä korkeita nopeuksia. Henkilöautojen ja raskaiden ajoneuvojen nopeuserot ovat tällaisessa ratkaisussa pienemmät kuin varsinaisissa hidastimissa.

## Mittausmenetelmät

Ajoneuvojen hetkellisten nopeuksien mittaaminen on yksinkertaisinta tutkalla. Sillä saadaan runsaasti havaintoja. Vilkkaassa liikenteessä syntyy kuitenkin ongelmia siitä, että kunkin nopeushavainnon yhdistäminen yksittäiseen ajoneuvoon on hankalaa. Lisäksi samanaikaisesti tutkan keilassa olevat eri nopeudella liikkuvat ajoneuvot sekoittavat tutkan. Tutkalla on vaikeaa mitata ajoneuvon nopeus tarkasti tietyssä tienkohdassa, koska yleensä etuviistossa olevasta havaintopaikasta on vaikea määrittää ajoneuvon tarkka sijainti. Tavallisella tutkalla ei pysty mittaamaan kuin ajoneuvojen hetkellisiä nopeuksia. Nopeusprofiilin mittaus tietyn pituisella tieosalla on mahdollista tehdä lasertutkalla. Lasertutka mittaa ajoneuvon etäisyyksiä mittauslaitteeseen nähden. Sen avulla saadaan selville nopeudet ja niiden muuttuminen hyvinkin tarkasti.

Ajoneuvoseuranta on menetelmä, jolla ajoneuvon nopeus kyetään mittaamaan koko mittausjakson matkalla. Mittausjakson pituudella ei ole merkitystä. Näistä nopeushavainnoista voidaan laskea myös ajoneuvon kiihtyvyys. Menetelmä on kuitenkin subjektiivinen, sillä mittausajoneuvon nopeuden määrää viimekädessä sen kuljettaja ja mittausauton liikkeet eivät ole täsmälleen samoja kuin seurattavan ajoneuvon. Lisäksi ajoneuvoseuranta on näkyvä menetelmä ja voi siten vaikuttaa seurattavan ajoneuvon kuljettajan käyttäytymiseen. Havaintojen tekeminen vie aikaa, sillä seurattavaa ajoneuvoa saattaa joutua odottelemaan hiljaisessa liikenteessä kauan.

Video soveltuu sekä ajodynamiikan että kuljettajan käyttäytymisen tutkimiseen. Havaintoaineistoon sisältyvät kaikki mittauspaikan sivuuttaneet ajoneuvot. Sen etu on myös tilanteen toistettavuus. Menetelmän hankaluutena on nauhojen purku, joka vie aikaa. Videokuvauksen avulla tapahtuvassa ajoneuvojen liiketilojen muuttumisen tarkastelussa on eräitä käytännön ongelmia. Koska useissa kohteissa ajoradan sivulla oleva tila on näköesteiden kuten puiden tai rakennusten vuoksi rajoitettu, kuvaus joudutaan tekemään 20 - 30 metrin etäisyydeltä ajoradasta. Tällöin yhden kameran kuva-ala on ainoastaan runsaat 20 metriä. Useamman kameran rinnakkaisella käytöllä kuvausala voidaan laajentaa, mutta nauhojen purkutyö hankaloituu. Eräs ratkaisu on ylhäältä päin kuvaus, mutta kameran naamiointi on silloin vaikeaa. Läheltä kuvattaessa perspektiivivirhe kasvaa suureksi kuva-alan laidoilla. Tämä ongelma vältetään, kun maastoon tehdään riittävän näkyvät etäisyysmerkinnät.

## 6 LÄHDELUETTELO

Allen, C. D. & Walsh, L. B. 1975. A Bumpy Road Ahead? Traffic Engineering, vol 45 no 10, s. 11-14.

Baier, R. 1992. Flankierende Maßnahmen zur Einrichtung von Tempo 30-Zonen. Straßenverkehrstechnik, vol 36 no 1, s. 31-36.

Botma, H. 1995. Technische Universiteit Delft. Kirje 29.3.1995.

Chadda, H. S. & Cross, S. E. 1985. Speed (Road) Bumps: Issues and Opinions. Journal of Transportation Engineering, vol 111 no 4, s. 410-418. ISSN 0733-947X.

The Department of Transport 1993a. Traffic Calming Special Authorisations. (The Department of Transport, Traffic Advisory Unit: Traffic Advisory Leaflet 3/93).

The Department of Transport 1993b. Rumble Devices. (The Department of Transport, Traffic Advisory Unit: Traffic Advisory Leaflet 11/93).

The Department of Transport 1993c. Overrun Areas. (The Department of Transport, Traffic Advisory Unit: Traffic Advisory Leaflet 12/93).

The Department of Transport 1993d. Gateways. (The Department of Transport, Traffic Advisory Unit: Traffic Advisory Leaflet 13/93).

The Department of Transport 1994a. Speed Cushions. (The Department of Transport, Traffic Advisory Unit: Traffic Advisory Leaflet 4/94).

The Department of Transport 1994b. Horizontal Deflections. (The Department of Transport, Traffic Advisory Unit: Traffic Advisory Leaflet 9/94).

Durth, W. & Biedermann, B. & Vieth B. 1983. Einflüsse der Erhöhung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Fahrzeugen auf die Entwurfsgeschwindigkeit. Darmstadt. 41 s. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 385).

Espoon kaupunki 1983. Kokemuksia korotetuista suojateistä Karakalliossa. 9 s. Espoon kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto, liikennesuunnitteluosasto muistio 20.9.1983.

Feather, D. & Beckett, I. 1994. The Wiltshire "Gateways" programme. Highways & Transportation, vol 41 no 10, s. 20-23. ISSN 0265-6868.

Fwa, T. F. & Tan, L. S. 1992. Geometric Characterization of Road Humps for Speed-Control Design. Journal of Transportation Engineering, vol 118 no 4, s. 593-598. ISSN 0733-947X.

Gorman, M. N. & Moussavi, M. & McCoy, P. T. 1989. Evaluation of Speed Hump Program in the City of Omaha. ITE Journal, vol 59 no 6, s. 28-32. ISSN 0162-8178.

Gunnarsson, S. O. 1990. Urban Traffic Network Design - A Spatial Approach. In: Proceedings of Road Safety and Traffic Environment in Europe in Gothenburg, Sweden, September 26-28, 1990 - City Planning, Speed. Lindköping. s. 65-81. (VTI rapport 363A). ISSN 0347-6030.



Hakuli, K. & Summala, H. 1989. Alhaisten nopeusrajoitusten ja töyssyjen vaikutus ajonopeuksiin asuntokaduilla. Helsinki. 30 s. (Helsingin yliopisto, psykologian laitos/liikennetutkimusyksikkö. Tutkimuksia 16:1989). ISBN 951-45-4874-4, ISSN 0781-9935.

Harwood, D. W. 1995. Enhancing Highway Safety with Rumble Strips. TR News, no 178, s. 12-16. ISSN 0738-6826.

Hälvä, H. 1987a. Hidaskadut. Helsinki. 48 s. (Ympäristöministeriö, kaavoitus- ja rakennusosasto, Tutkimus 3/1987). ISBN 951-47-0190-9, ISSN 0783-9715.

Hälvä, H. 1987b. Hidaskadut. 86 s. Diplomityö: Teknillinen korkeakoulu.

Höglund, P. G. 1995. Estimating traffic related exhaust emissions and immissions at road- and street intersections. 12 s. Esitelmä: VTI and KFB Research Information Days, Lindköping, Sweden, 10-11th January 1995.

Infanger, K. 1984. Auswirkungen von Wohnschutzmassnahmen. Strasse und Verkehr, vol 70 no 4, s. 103-108.

ITE Technical Council Committee 5B-15 1986. Road Bumps - Appropriate for Use on Public Streets? ITE Journal, vol 56 no 11, s. 18 - 21. ISSN 0162-8178.

ITE Technical Council Task Force on Speed Humps 1993. Guidelines for the Design and Application of Speed Humps. ITE Journal, vol 63 no 5, s. 11-17. ISSN 0162-8178.

Jakobsen, P. R. 1994. Bump i byer. Dansk Vejtidskrift, vol 71 no 1, s. 3-5. ISSN 0011-6548.

Jensen, S. 1995. Fartdæmpning med cirkelbump i Fredriksborg Amt. Dansk Vejtidskrift, vol 72 no 6/7, s.22-23. ISSN 0011-6548.

Kayser, H. J. & Möhler, W. & Otten, N. 1985. Quantitative Erfassungen des Straßenraumes (unter Berücksichtigung bebauter Stadtrandgebiete). Remscheid. 129 s. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 452).

Kayser, H. J. & Sanders, A. F. & Heß, M. & Spijkers, W. A. C. & Bartmann, A. 1989. Das Wahrnehmungsverhalten des Kraftfahrers in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit und der Straßenraumgestaltung. Bonn. 48 s. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 557).

Kayser, H. J. & Feldges, M. & Heß, M. 1990. Untersuchung zur sicherheitsfördernden Gestaltung des Straßenraumes im Übergangsbereich zwischen freier Strecke und bebautem Gebiet. Meckenheim. 54 s. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 578).

Kjemtrup, K. 1988. Fartdæmpning med bump. Dansk Vejtidskrift, vol 65 no 2, s. 32-37. ISSN 0011-6548.

Kockelke, W. & Weichert, M. 1986. Entwicklung und Einsatz eines Laser-Radar-Gerätes zur Messung veränderlicher Fahrzeuggeschwindigkeiten. Straßenverkehrstechnik, vol 30 no 3, s. 114-116.



Kockelke, W. & Rossbander, E. & Steinbrecher, J. 1988. Geschwindigkeitsverhalten in umgestalteten Ortseinfahrten - ein Vorher/Nachher-Vergleich. Straßenverkehrstechnik, vol 32 no 2, s. 47-51.

Kockelke, W. 1991. Geschwindigkeitsmessungen an Rechts-vor-Links geregelten Knoten in Tempo 30-Zonen. Straßenverkehrstechnik, vol 35 no 4, s. 169-172.

Kooijman, G. 1993. Fussgänger-Lichtsignalanlage mit "Alles Rot als Wartezustand". Strasse und Verkehr, vol 79 no 9, s. 527-529.

Köppel, G. & Bock, H. 1979. Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit. Sankt Augustin. 160 s. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 269). ISSN 0344-0788.

Lahrman, H. & Mathiasen, P. 1992. Bumpudformning. Dansk Vejtidskrift, vol 69 no 9, s. 16-22. ISSN 0011-6548.

Laitakari, P. & Alppivuori, K. 1981. The Effect of a Hump and Elevated Pedestrian Crossing on Vehicle Comfort and Control. Espoo. 29s. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio, tiedonanto 69). ISBN 951-38-1233-2, ISSN 0355-3523.

Lajunen, T. & Hakkarainen, P. & Summala, H. 1994. Taajamamerkki ei toimi. Tie ja liikenne, vol 63 no 5-6, s. 15-17. ISSN 0355-7855.

Laurén, N. 1984. Nopeuden rakenteelliset alentamiskeinot. 56 s. Erikoistyö: Teknillinen korkeakoulu.

Lind, M. 1995. Keskustelu Kungliga Tekniska Högskolanissa Tukholmassa 19.1.1995.

Lum, H. S. 1983. The Use of Road Markings to Narrow Lanes for Controlling Speed in Residential Areas. Public Roads, vol 47 no 2, s. 56-60.

Mantere, J. 1987. Ajonopeuden säätely taajamissa. 133 s. Diplomityö: Teknillinen korkeakoulu.

Marconi, W. 1977. Speed Control Measures in Residential Areas. Traffic Engineering, vol 47 no 3, s. 28-30.

Mayer, W. 1988. Die Berücksichtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Verkehrsberuhigung. In: Straßen und Verkehr 2000, Internationale Straßen- und Verkehrskonferenz, Berlin 6 - 9 September 1988. Konferenzberichte Band 4/2, Thema Straßenverkehrstechnik und Verkehrssicherheit. Moers. s. 83-88.

Meewes, V. 1989. Geschwindigkeiten in Erschließungsstraßen - Möglichkeiten der Dimensionierung. Straßenverkehrstechnik, vol 33 no 2, s. 48-58.

Meschik, M. 1990. Der Einfluß der Straßengestaltung auf die Lebensqualität in Ortsgebieten. Straßenverkehrstechnik, vol 34 no 4, s. 151-155.

Der Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen 1979. Verkehrsberuhigung in Wohngebieten - Schlußbericht über den Großversuch des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln. 120 s. ISBN 3-7812-1032-4.

- Mäntynen, J & Ernvall, T. & Hartikainen, O-P. 1983. Pihakadut ja hidaskadut. Tampere. 85 s. (Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tie- ja liikennetekniikka). ISBN 951-720-832-4.
- Nevala, P. 1995. Komisario, Liikkuva poliisi, Helsingin yksikkö. Kustom-lasertutkan esittely Helsingin Malmilla 15.8.1995.
- Nielsen, M. A. 1994. Riktig afstand mellem bumpene - holder farten nede. Dansk Vejtidskrift, vol 71 no 2, s. 19. ISSN 0011-6548.
- Nordisk Vegteknisk Forbund 1981. Fartsdempende tiltak. 119 s. (Nordisk Vegteknisk Forbund, rapport nr 5: 1981).
- Nykänen, T. 1978. Asuntoalueiden liikenteellinen rauhoittaminen. 119 s. Diplomityö: Teknillinen korkeakoulu.
- Pasanen, E. 1991. Ajonopeudet ja jalankulkijan turvallisuus. 126 s. Väitöskirja: Teknillinen korkeakoulu. (Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, julkaisu 72). ISBN 951-22-0487-8. ISSN 0781-5816.
- Pettersson, H. 1979. Prov med hastighetsdämpande gupp i vägbanan på tre gator i Göteborg. Lindköping. 88 s. (VTI rapport 176). ISSN 0347-6030.
- Pharaoh, T. M. & Russel, J. R. E. 1991. Traffic Calming policy and performance - The Netherlands, Denmark and Germany. Town Planning Review, vol 62 no 1, s. 79-105.
- Pursula, M. 1981. Korotettujen suojateiden vaikutus ajonopeuksiin Karakalliontiellä Espoossa. Tie ja liikenne vol 51 no 7, s. 303-304.
- Sayer, I. A. & Parry, D. I. 1994. Speed Control Using Chicanes - A Trial at TRL. (Transport Research Laboratory. Executive Summary of Project Report 102).
- Schnüll & Haller, W. & Lange, J. 1989. Entwurfsempfehlungen für Ortsdurchfahrten dörflich und städtisch geprägter Orte. Bonn. 54 s. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 573).
- Schäfer-Breede, K. (Hrsg.) 1987. Tempo 30 durch Straßengestaltung - 80 Planungsbeispiele zur Verkehrsberuhigung. Wiesbaden. 164 s. ISBN 3-7625-2464-5.
- Sumner, R. & Baguley, C. 1979. Speed Control Humps in Kensington and Glasgow. Crowthorne. 21 s. (Department of the Environment, Department of Transport, TRRL Supplementary Report 456). ISSN 0305-1315.
- Tielaitos, tiehallitus, kehittämiskeskus 1991. Selvitys nopeuden alentamiskeinoista taajamateillä. Helsinki. 69 s. (Tielaitoksen selvityksiä 12/1991). ISBN 951-47-4351-2, ISSN 0788-3722, TIEL 3203613.
- Tielaitos, tiehallitus, kehittämiskeskus 1992. Kiertoliittymät, suunnitteluohje. Helsinki. 37 s. ISBN 951-47-6854-X. TIEL 2130010.
- Tielaitos, kehittämiskeskus 1995. Taajamien keskustateiden suunnittelu. Helsinki. 123 s. ISBN 951-726-005-9. TIEL 2110007.



Várhelyi, A. 1993. Minirondellers effekter på hastighet, tidsförbrukning, bensinförbrukning och avgasutsläpp - Utvärdering med hjälp av bil-förföljelse metoden. Lund. 51 s. (Institutionen för Trafikteknik, Lunds Tekniska Högskola, Bulletin 113). ISSN 0346-6256.

Vejdirektoratet 1987. Effektvurdering af MILjøprioriteret gennemfart I VINDERUP. 56 s. (Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet, Rapport 52). ISBN 87-7491-223-2, ISSN 0107-0614.

Vejdirektoratet 1988a. Effektvurdering af MILjøprioriteret gennemfart I SKÆRBÆK. 56 s. (Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet, Rapport 63). ISBN 87-7491-245-3, ISSN 0107-0614.

Vejdirektoratet 1988b. Effektvurdering af MILjøprioriteret gennemfart I UGERLØSE. 56 s. (Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet, Rapport 75). ISBN 87-7491-283-6, ISSN 0107-0614.

Vejdirektoratet 1989. Hastighedspåvirkning - Forsætningers geometriske udformning. 56 s. (Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet, Vejregelsekretariatet, Rapport 80). ISBN 87-7491-316-6, ISSN 0107-0614.

Vejdirektoratet 1991. Byernes trafikarealer. Hæfte 7. Fartdæmpere. 55 s. København. (Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet). ISSN 0106-9772. ISBN 87-7491-353-0.

Villadsen, B. & Andersson, M. G. 1995. Gram - en "smukkere by" undervejs. Dansk Vejtidskrift, vol 72 no 2, s. 27-29. ISSN 0011-6548.

Webster, D. C. 1993. Road Humps for Controlling Vehicle Speeds. 49 s. (Transport Research Laboratory, Project Report 18). ISSN 0968-4093.

Westland, D. 1984. Location of the Highest Speed between Speed Reducing Measures. (englanninkielinen tiivistelmä, tutkimuksen alkuperäiskieli hollanti). (Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Transportation Research Laboratory). OS/1/84.3.

Westland, D. 1989. Snelheidsreducerende maatregelen op doorgaande wegen in kleine kernen - Een rotonde en een afrembocht, Project Reimerswaal. 30 s. (Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Verkeer). ISSN 0920-0592.

Wheeler, A. & Taylor M. & Barker J. 1994. Speed Reduction in 24 Villages: Details from the VISP Study. 282 s. (Transport Research Laboratory, Project Report 85). ISSN 0968-4093.

Wyatt, E. 1995. Practical Traffic Calming on Major Routes. TRAFFEX '95 Conference Traffic Engineering for Society. Seminar on Managing Traffic for Sustainability, Thursday 27 April 1995. Conference Proceedings. 11 s.

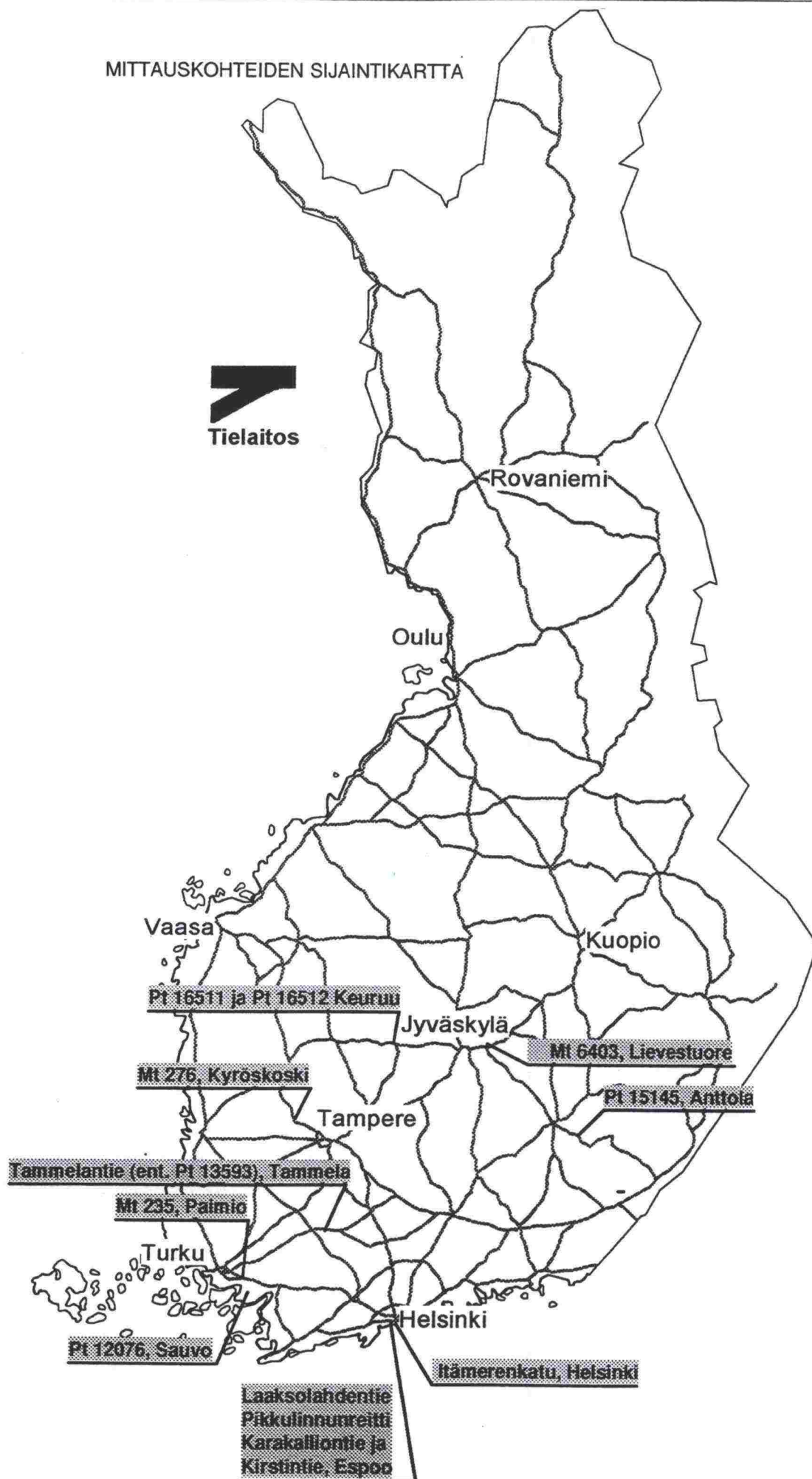
Ympäristöministeriö 1989. Irjalankatu - hidaskadun seurantatutkimus. Helsinki. 96 s. (Ympäristöministeriö, kaavoitus- ja rakennusosasto, tutkimusraportti 1/1989). ISSN 0786-5244, ISBN 951-47-1295-1.



## 7 LIITTEET

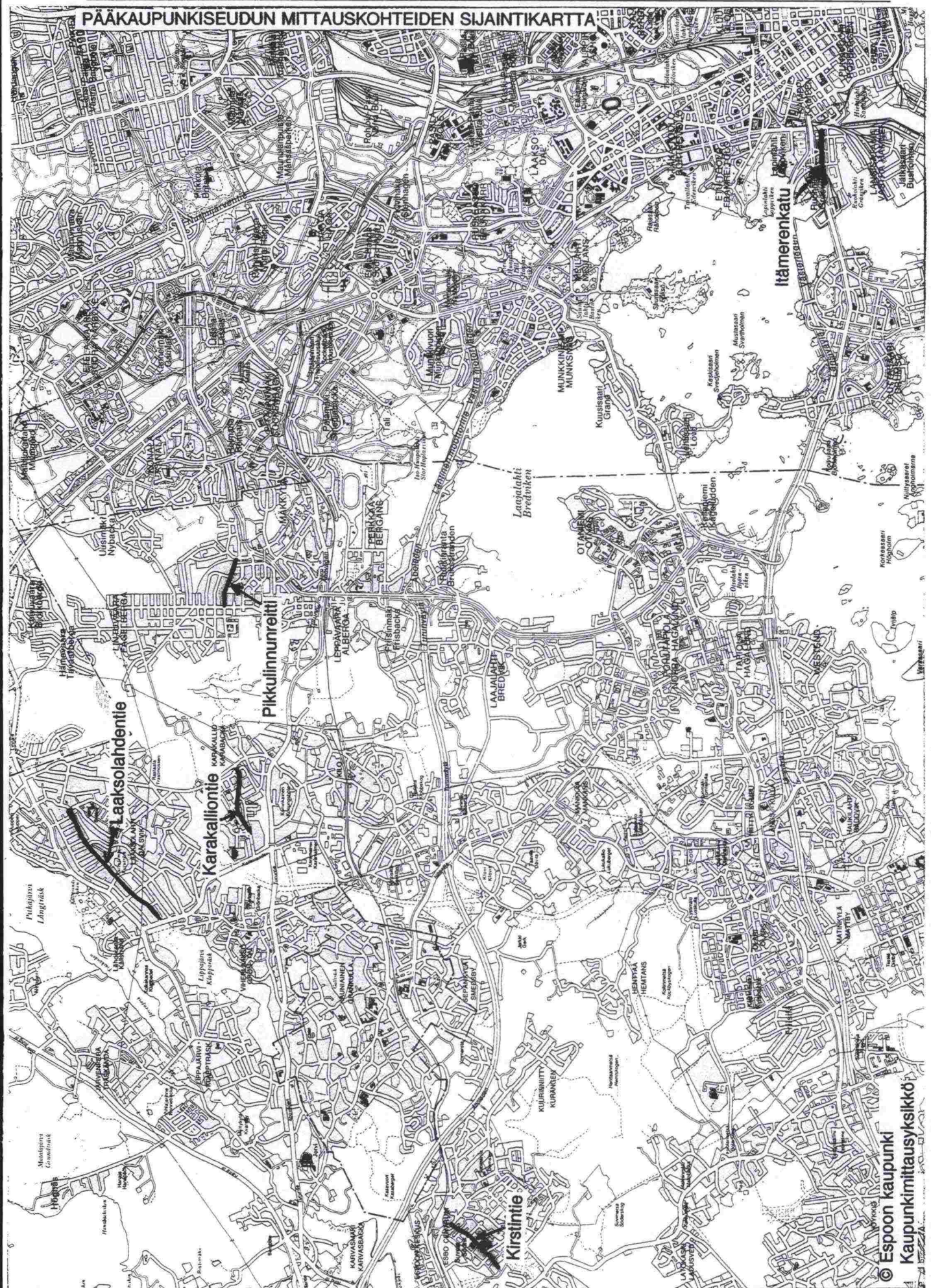
- Liite 1. Mittauskohteiden sijaintikartta.
- Liite 2. Pääkaupunkiseudun mittauskohteiden sijaintikartta.
- Liite 3. Sauvon, Paimion, Anttolan, Tammelan, Kyröskosken, Keuruun ja Lievestuoreen mittauskohteiden kartat.
- Liite 4. Valokuvia mittauskohteista.

## MITTAUSKOHTEIDEN SIJAINTIKARTTA



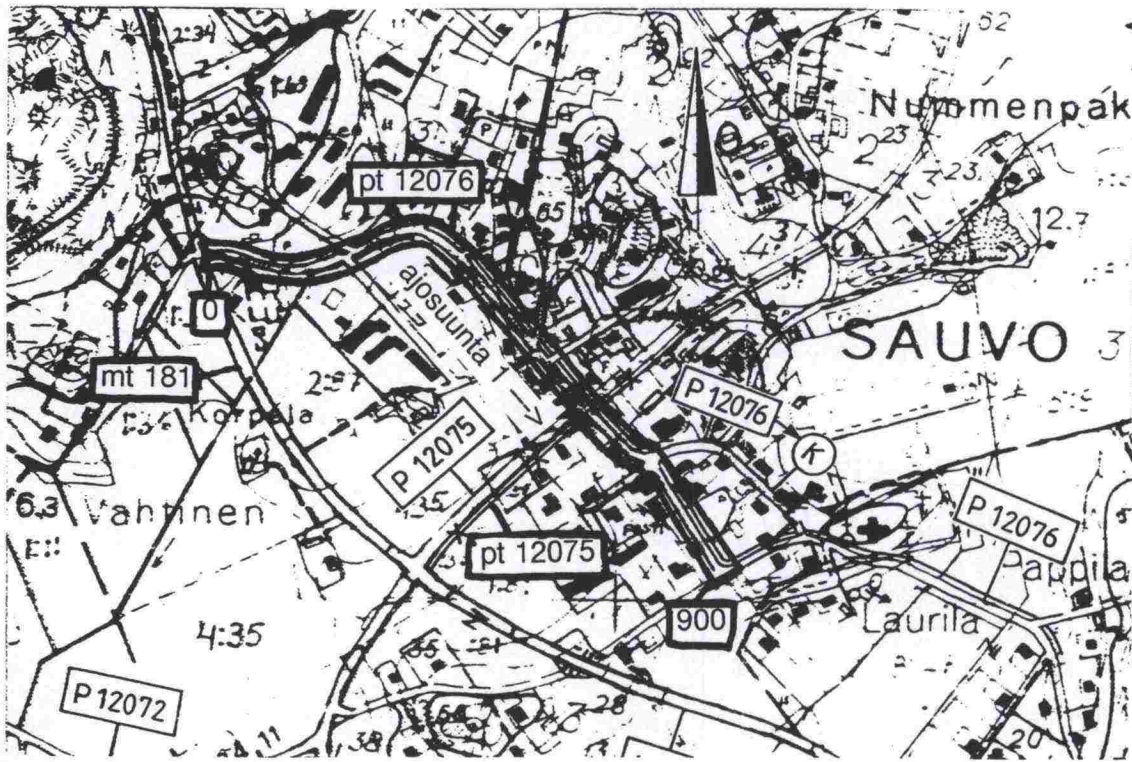


PÄÄKAUPUNKISEUDUN MITTAUSKOHTEIDEN SIAINTIKARTTA

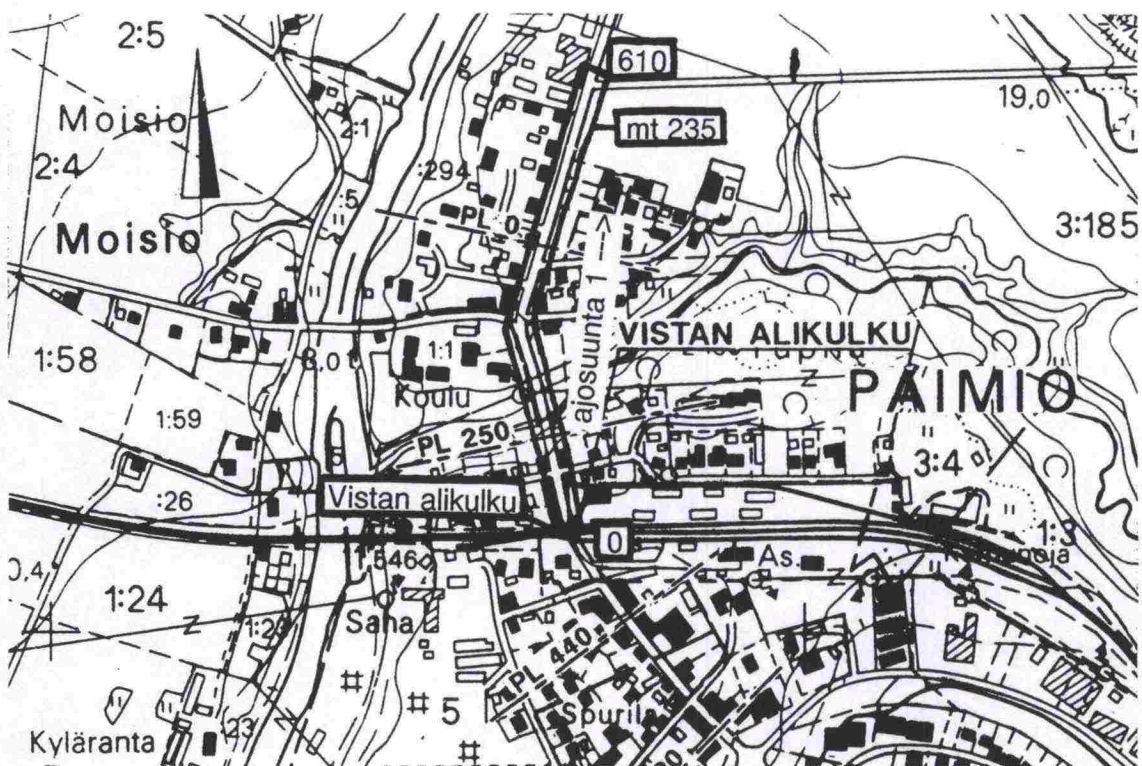




## SAUVO JA PAIMIO



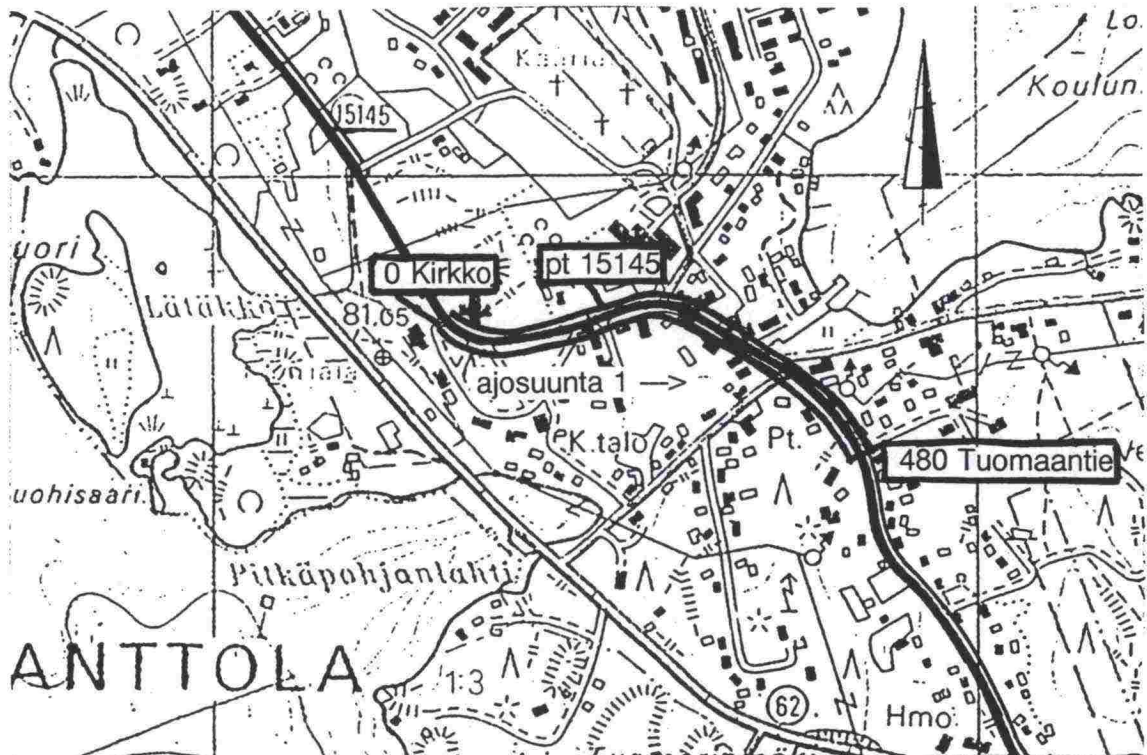
Sauvo paikallistie 12076



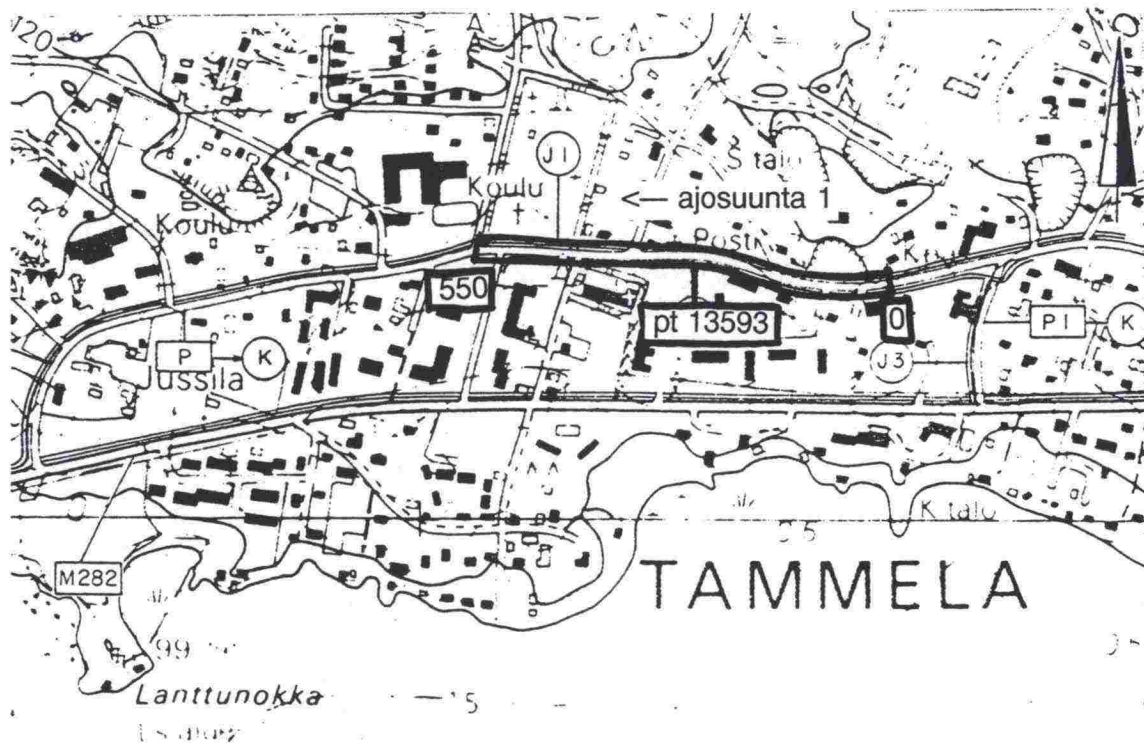
Paimio maantie 235



ANTTOLA JA TAMMELA

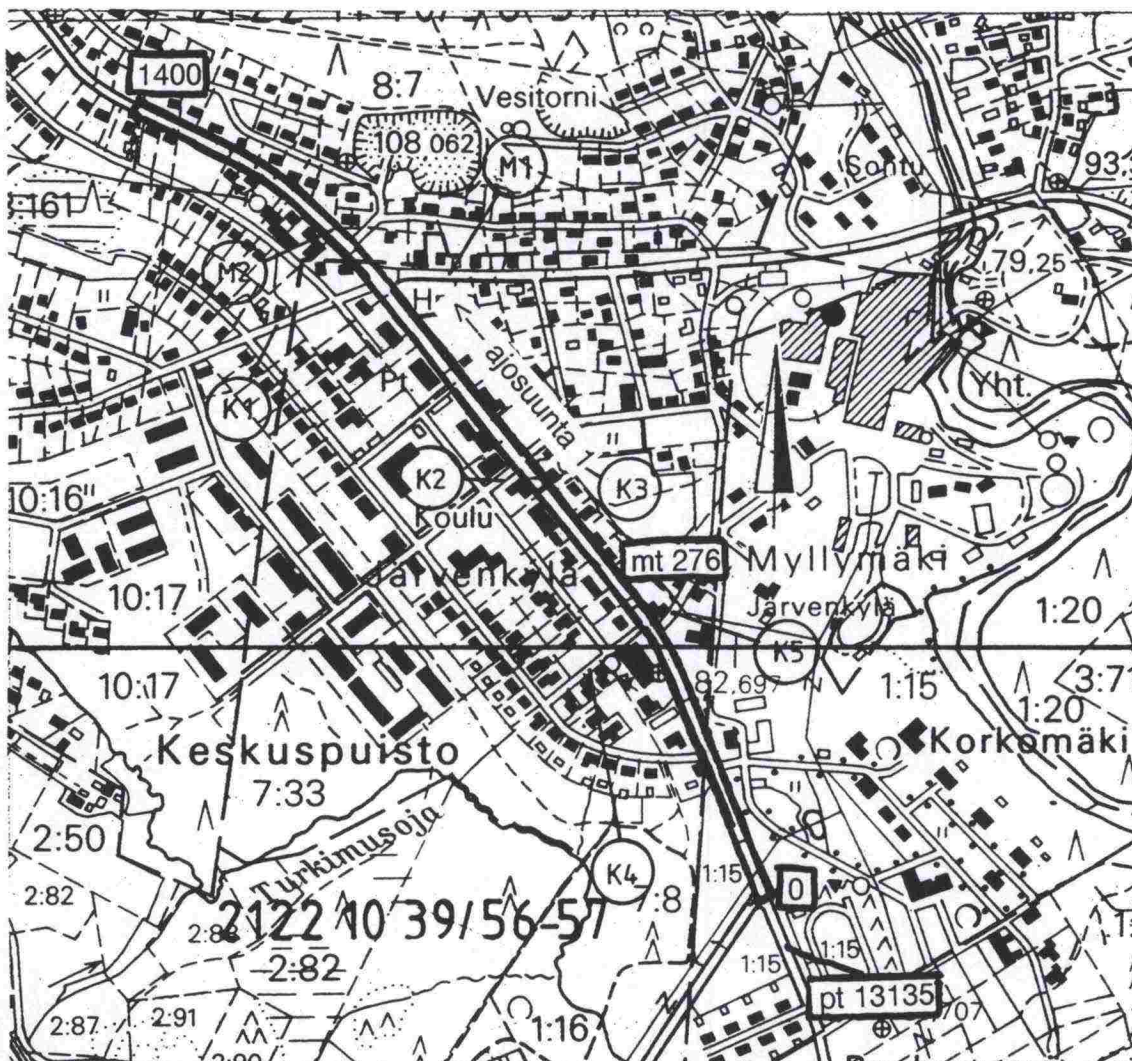


Anttola paikallistie 15145



Tammela Tammelantie (entinen paikallistie 13593)

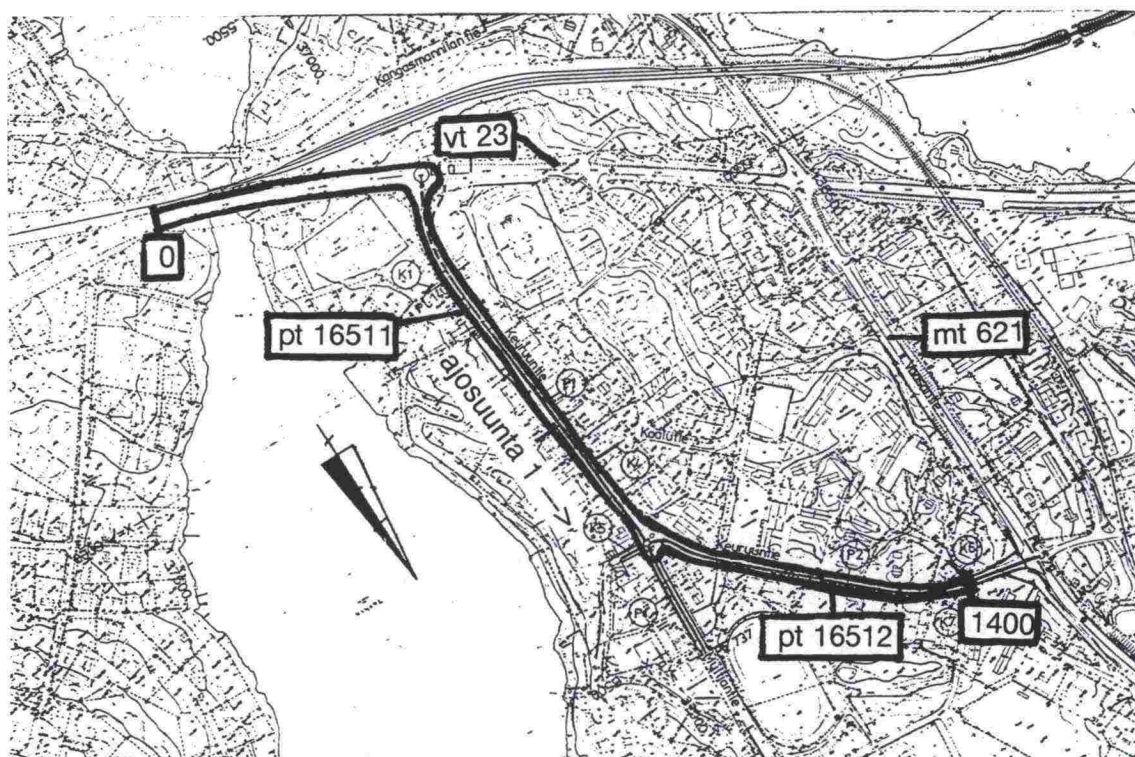
## KYRÖSKOSKI



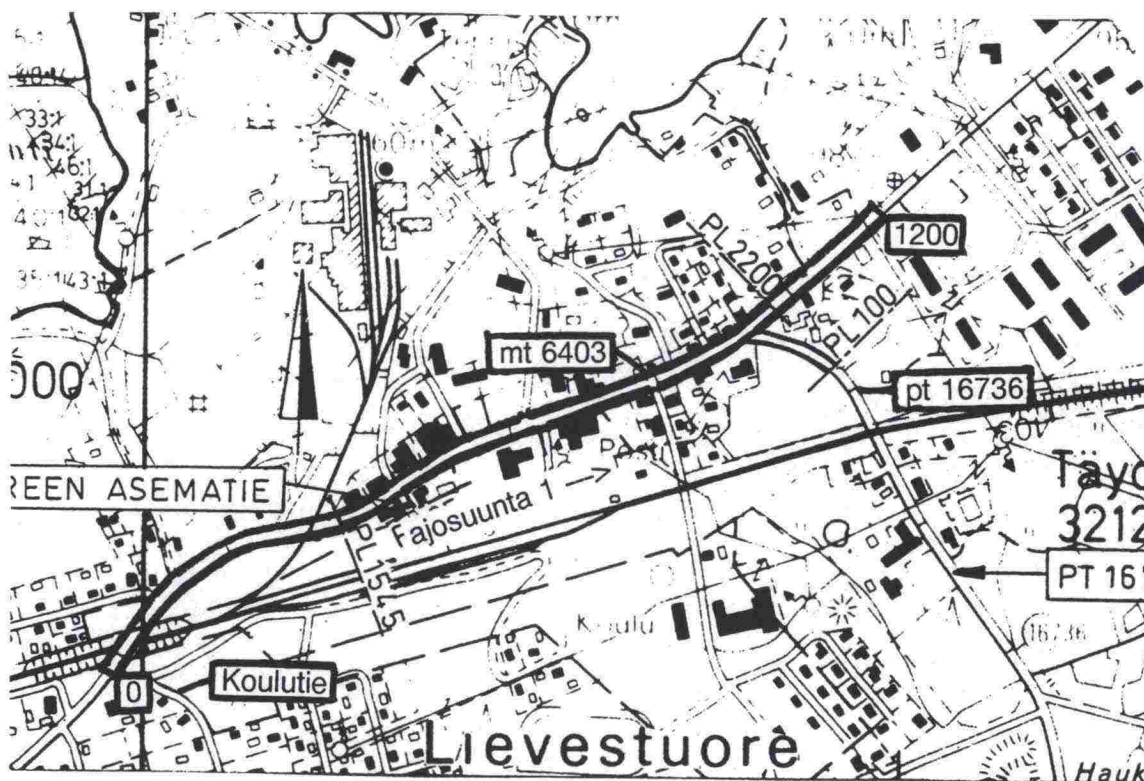
Kyröskoski maantie 276



### KEURUU JA LIEVESTUORE



Keuruu paikallistiet 16511 ja 16512



Lievvestuore maantie 6403



## VALOKUVIA MITTAUSKOHTEISTA

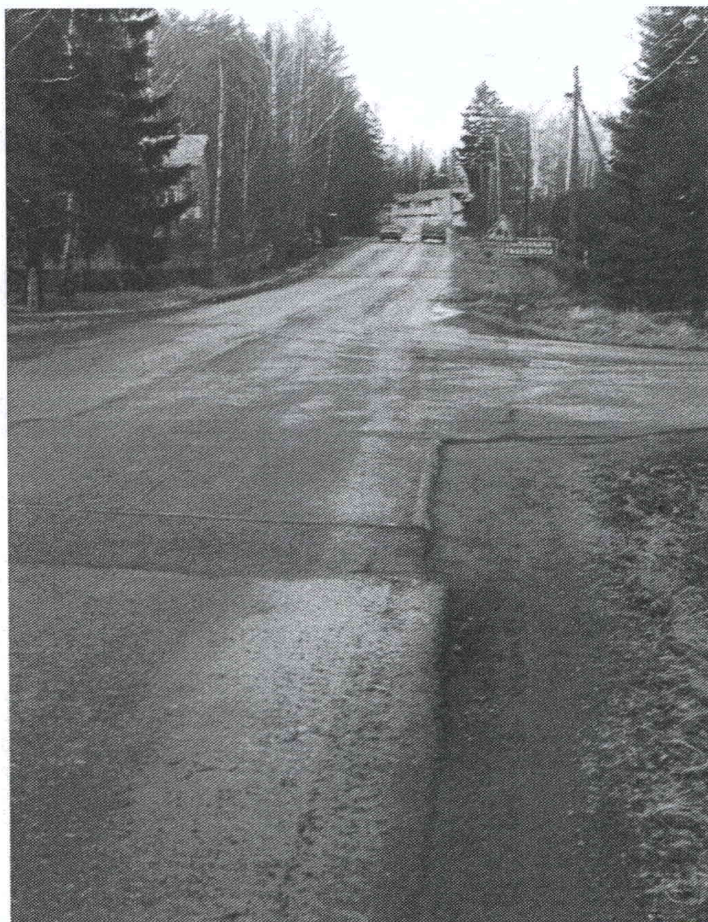


Töyssi, Laaksoahdentie Espoo.



Kaksipuolinen kavennus, Laaksoahdentie Espoo.





Töyssi, Pikkulinnunreitti Espoo.



Töyssi, Karakalliontie Espoo.





Kaksipuolinen kavennus, Pt 12076 Sauvo.



Yksipuolinen kavennus, Pt 12076 Sauvo.





Ajolinjaa muuttava keskisaareke, Mt 235 Paimio.



Kiertoliittymä, Pt 15145 Anttola.





Kaksipuolinen kavennus, Kirstintie Espoo.



Ajoradan sivusiirtymä, Kirstintie Espoo.





Ajolinjan sivusiirtymä, Itämerenkatu Helsinki.



Ajolinjan sivusiirtymä, Mt 276 Kyröskoski.





Ajoradan korotus, Pt 16511 Keuruu.



Kiertoliittymä, Pt 16511 ja Pt 16512 Keuruu.





Muotoiltu liittymä, Tammelantie (entinen Pt 13593) Tammela.



Keskisaareke, Mt 6403 Lievestuore.



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 32/1995 Tienpidon pitkän aikavälin suunnittelu Suomessa ja Ruotsissa. TIEL 3200309
- 33/1995 Pyöräilyn edistäminen Euroopassa; Esimerkkejä ja kokemuksia. TIEL 3200310
- 34/1995 Teiden suolauksen vähentämiskokeilu Savo-Karjalan tiepiirissä, loppu-raportti. TIEL 3200311
- 36/1995 Muuttuvien kelivaroitusmerkkien vaikutukset liikennekäyttämiseen Turun tiepiirissä talvella 1993-1994. TIEL 3200313
- 37/1995 Tuntiliikenteen vaikutus liikenneturvallisuuteen. TIEL 3200314
- 38/1995 Liikenneturvallisuus ja tienpidon vaihtoehdot; Tutkimus erilaisten intressi-ryhmien näkemyksistä; Tulosraportti. TIEL 3200315
- 39/1995 Liikenneturvallisuus ja tienpidon vaihtoehdot: Menetelmäraportti. TIEL 3200316
- 40/1995 Pääkaupunkiseudun kulkutapamallien siirrettävyys Ouluun. TIEL 3200317
- 41/1995 Rantasalmen taajamatien parantaminen; Yhteenveto seurannasta. TIEL 3200318
- 42/1995 Visio tiiviistä moottorikadusta. TIEL 3200323
- 43/1995 Tukitelineperustusten kantokyky. TIEL 3200319
- 44/1995 Kaltevan maanpinnan vaikutus perustusten kantokykyyn. TIEL 3200320
- 45/1995 Maanvaraisten perustusten kantokyvyn laskenta elementtimenetelmällä. TIEL 3200321
- 46/1995 Vuosien 1986-1992 henkilöliikennetutkimusten vertailu. TIEL 3200322
- 48/1995 Alueiden kehittäminen ja tiensuunnittelu. TIEL 3200325
- 49/1995 Väylien ja maankäytön suunnittelun vuorovaikutus. TIEL 3200326
- 50/1995 Liikenne- ja autokantaennuste 1995-2020. TIEL 3200327
- 51/1995 Liikenneturvallisuus yleisillä teillä v. 1989-93. TIEL 3200328
- 52/1995 Liikenteen seuranta ja häiriöiden havaitseminen. TIEL 3200329
- 53/1995 Niitto- ja vesakonraivaustöiden turvallisuus. Tuotannon palvelukeskus, Kuopion kehitysyksikkö
- 54/1995 Veittostensuon koerakenteen toiminta ja laadun arviointi. TIEL 3200330
- 55/1995 Alempiasteinen tieverkko ja kylien elinvoimaisuus. TIEL 3200331
- 56/1995 Talvi ja tieliikenne; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista. TIEL 3200332
- 57/1995 Talvi ja tieliikenne; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista, englannin-kielinen. TIEL 3200332E
- 58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - ideakilpailu. TIEL 3200333
- 59/1995 Laatuksiteerien määrittäminen laatuvarusturakentamista varten. TIEL 3200334